L'Installatore Qualificato

Palazzoli Academy

Ing. Mirko Martina

Avv. Francesco Menini

Incendio negli impianti elettrici: innesco e propagazione

messa in sicurezza

Palazzoli

Sistemi Elettrici d'Autore

L'Installatore Qualificato

Palazzoli Academy

Ing. Mirko Martina

Avv. Francesco Menini

Incendio negli impianti elettrici: innesco e propagazione

messa in sicurezza

Parte Prima: Aspetti tecnici e normativi

Sommario

Parte Seconda: Aspetti giuridici

1 CENNI SUI PRINCIPI DELLA COMBUSTIONE

Un incendio è di fatto una reazione di ossidazione, ovvero la reazione chimica di una sostanza con l'ossigeno e quindi il processo chimico è lo stesso di una reazione di combustione.
La reazione di ossidazione che si può definire come combustione provoca formazione di calore, solitamente accompagnata da fiamma visibile. La combustione è una ossidoriduzione esotermica, in quanto un composto si ossida mentre un altro si riduce (nel caso degli idrocarburi, il carbonio si ossida, l'ossigeno si riduce) con rilascio di energia e formazione di nuovi composti, principalmente anidride carbonica ed acqua.
I principali prodotti della combustione sono:

- Elevato sviluppo di calore (reazione fortemente esotermica);
- Elevato sviluppo di gas ad alta temperatura.

Affinché avvenga la reazione è necessaria la presenza contemporanea (nello stesso luogo e nello steso momento) di tre componenti ben definiti:

- il **combustibile**: solido, liquido o gas/vapore;
- il **comburente**: è l'agente ossidante, di solito l'ossigeno presente nell'aria;
- l'**innesco**: qualsiasi evento (scintilla, fiamma, temperatura, ecc.) sorgente di energia.

Il combustibile ed il comburente (ossidante) sono i reagenti della reazione di ossidoriduzione; l'innesco è la sorgente che fornisce l'energia necessaria a far iniziare la reazione (*energia di attivazione*).
Una volta innescata, la reazione sviluppa calore che viene ceduto agli strati di miscela combustibile adiacente, che a loro volta si riscaldano e reagiscono con maggiore velocità. Si viene così a formare un fronte di reazione, comunemente chiamato fronte di fiamma, che si muove dalla miscela combusta verso la miscela incombusta, propagando l'accensione alla restante miscela combustibile. La velocità con cui il fronte di fiamma si muove dalla miscela incombusta alla miscela combustibile è la *velocità di propagazione* della combustione.

FOCUS

- **I fenomeni di ossidazione, combustione e di esplosione sono reazioni chimiche esotermiche basate sullo stesso processo chimico, la differenza consiste nella velocità di reazione.**
- **La differenza tra combustione (incendio) ed esplosione è che** nell'esplosione questa velocità è talmente elevata da determinare un improvviso e violento rilascio di energia, normalmente con produzione di gas ad altissima temperatura e pressione. L'espansione istantanea di questi gas crea un'onda d'urto nel mezzo in cui avviene, che in assenza di ostacoli si espande in una sfera centrata nel punto dell'esplosione. Se incontra ostacoli esercita su di essi una forza tanto maggiore quanto maggiore è la superficie investita e quanto più è vicina al centro dell'esplosione.

1.1 L'incendio in relazione al tipo di combustibile

1.1.1 Combustibili Gas

Se il **combustibile è un gas**, perché una sua miscela con aria (o più in generale con un qualsiasi comburente) possa sostenere una combustione è necessario che la concentrazione del gas nella miscela sia compresa all'interno di un dato intervallo, detto di infiammabilità.
Il valore inferiore di concentrazione del gas di tale intervallo è chiamato **limite inferiore di infiammabilità** (**LFL**, Lower Flammability Limit), mentre il valore superiore **limite superiore di infiammabilità** (**UFL**,Upper Flammability Limit).
In altri termini, una miscela di gas combustibile-comburente può originare un incendio solo se la concentrazione del gas è compresa tra i valori di LFL e UFL per quel combustibile miscelato con un dato comburente (ad esempio ossigeno dell'aria) a temperatura e pressione di riferimento (in genere le condizioni ambientali di pressione atmosferica e temperatura di 20°C).
La pressione influenza il campo di infiammabilità, modificando i valori di LFL e UFL in modo differente a seconda della sostanza. Per apprezzare tale influenza è necessario discostarsi sensibilmente dal valore di pressione atmosferica. L'effetto di significative variazioni di pressione è specifico di ciascuna miscela infiammabile, in generale però si osserva che un aumento della pressione, rispetto al valore atmosferico, riduce invece leggermente il valore di LFL e aumenta quello di UFL, allargando di conseguenza il campo di infiammabilità.

Per innescare una miscela di gas infiammabile in aria è solitamente necessaria una quantità di energia molto piccola (dell'ordine di mJ), come per esempio quella for-

nita da una scintilla. L'energia provoca localmente l'innesco delle reazioni di combustione che poi si propagano nella massa del gas. Il **minimo valore di energia in grado di innescare la combustione di una data miscela combustibile-aria** viene indicato con **MIE** (Minimum Ignition Energy).

I limiti di infiammabilità di una miscela combustibile-comburente variano al variare della temperatura e se la temperatura della miscela viene portata sopra un valore limite caratteristico di ciascun combustibile, la combustione si innesca nell'intera massa del gas. Questo valore limite di temperatura, detto **temperatura di autoignizione**, viene in genere indicato con AIT (Auto Ignition Temperature).
I valori di **AIT** risentono fortemente del tipo di superficie calda a contatto con la miscela infiammabile, la presenza di composti particolari o di impurezze sulla superficie (per esempio ruggine) può far diminuire i valori di AIT anche di 100-200 °C.

FOCUS

- **Il combustibile GAS è infiammabile solo se miscelato con comburente in concentrazioni comprese nell'intervallo di infiammabilità.**
- **La reazione di combustione (incendio) avviene solo se:**
  - **Miscela combustibile-comburente compresa tra LFL e UFL**
  - **Energia di innesco superiore alla MIE oppure a contatto con superfici a Tsup > AIT**

- **Lo sviluppo di calore rappresenta una condizione necessaria per la formazione di un incendio. Nel caso di combustione di gas, il calore liberato serve a riscaldare i gas reagenti fino alla temperatura di autoignizione e quindi a sostenere le reazioni di combustione.**

1.1.2 Combustibili liquidi e solidi

I **liquidi** sono caratterizzati da minimo valore di temperatura alla quale emettono del vapore infiammabile. Quando il liquido raggiunge tale valore può esistere una miscela vapori-aria infiammabile sulla sua superficie, in concentrazioni tali da trovarsi all'interno del campo di infiammabilità LFL-UFL.
Questo minimo valore di temperatura è definito **punto di infiammabilità** (**FP**, Flash Point) e si considera come la minima temperatura a cui deve essere portato un combustibile liquido perché, in presenza di un innesco, si incendi.

Un **solido** riscaldandosi può essere soggetto a **pirolisi**, cioè la rottura delle molecole ad alto peso molecolare per formare composti a basso peso molecolare che possono volatilizzare.
I prodotti volatili di liquidi o solidi, sottoposti a calore, a contatto con l'ossigeno dell'aria possono formare una miscela infiammabile, cioè con concentrazioni comprese tra l'LFL e l'UFL per quel dato composto. Tale miscela può quindi infiammarsi e dare origine alla combustione del composto.
La pirolisi dei combustibili solidi richiede solitamente più energia dell'evaporazione dei composti liquidi, la temperatura dei combustibili solidi coinvolti in un incendio tende a essere più alta di quella dei combustibili liquidi. Mentre la temperatura dei combustibili liquidi è quella di ebollizione normale, la temperatura della superficie dei combustibili solidi è tipicamente dell'ordine di 400 °C.

Nel caso di combustibili liquidi o solidi, quando la reazione è innescata, lo sviluppo di fiamme produce inoltre un riscaldamento tale da provocare l'evaporazione (se liquido) o la pirolisi (se solido) e quindi l'emissione di gas infiammabili che vanno a sostenere la fiamma stessa: il fenomeno si autoalimenta.

Un combustibile liquido o solido può formare vapori infiammabili attraverso una combinazione di processi di fusione, evaporazione e decomposizione.
Un liquido, sotto l'azione del calore proveniente dalla fiamma, può evaporare senza modificare la propria composizione (come, per esempio, gli idrocarburi leggeri) oppure può decomporsi parzialmente mentre evapora (come, per esempio, gli idrocarburi più pesanti). In entrambi i casi, i vapori costituiti da composti a basso peso molecolare alimentano la fiamma.
Un solido, viceversa, può sublimare o decomporsi generando direttamente vapori infiammabili, oppure può fondere (ed eventualmente decomporsi contestualmente) per formare un liquido che poi segue i meccanismi di formazione di vapori descritti in precedenza.

FOCUS

- **Lo sviluppo di calore rappresenta una condizione necessaria per la formazione di un incendio.**
- **Liquidi a T > Flash Point emettono vapori che miscelati con l'ossigeno dell'aria possono formare miscele infiammabili**
- **L'aumento di temperatura nei solidi conduce a pirolisi (rottura dei legami) che genera composti a basso peso molecolare che possono volatilizzare e che miscelati con l'ossigeno dell'aria possono formare miscele infiammabili**

- **COMBUSTIBILE LIQUIDO:**

  - **può evaporare e alimentare l'incendio (idrocarburi leggeri)**
  - **può decomporsi parzialmente mentre evapora (idrocarburi più pesanti), i composti evaporati hanno peso molecolare basso e alimentano l'incendio**

- **COMBUSTIBILE SOLIDO:**

  - **può sublimare o decomporsi generando direttamente vapori infiammabili e alimentale l'incendio**
  - **fondere (ed eventualmente decomporsi contestualmente) per formare un liquido che evapora e alimenta l'incendio**

POLIMERI TERMOPLASTICI:	**fondono prima di decomporsi per formare vapori (gocciolano e propagano l'incendio).**
POLIMERI TERMOINDURENTI:	**decompongono dando direttamente composti gassosi.**

1.2 Principali cause di incendio

Le possibili fonti d'innesco possono essere suddivise in quattro categorie:

- **accensione diretta**
  quando una fiamma, una scintilla o altro materiale incandescente entra in contatto con un materiale combustibile in presenza di ossigeno.

  Esempi: operazioni di taglio e saldatura, fiammiferi e mozziconi di sigarette, lampade e resistenze elettriche, scariche elettrostatiche.

- **accensione indiretta**
  quando il calore d'innesco avviene nelle forme della convenzione, conduzione e irraggiamento termico.

  Esempi: correnti di aria calda generate da un incendio e diffuse attraverso un vano scala o altri collegamenti verticali negli edifici; propagazione di calore attraverso elementi metallici strutturali degli edifici.

- **Attrito**
  quando il calore è prodotto dallo sfregamento di due materiali.

  Esempi: malfunzionamento di parti meccaniche rotanti quali cuscinetti, motori; urti; rottura violenta di materiali metallici.

- **Autocombustione o riscaldamento spontaneo**
  quando il calore viene prodotto dallo stesso combustibile come ad esempio lenti processi di ossidazione, reazione chimiche, decomposizioni esotermiche in assenza d'aria, azione biologica.

  Esempi: cumuli di carbone, stracci o segatura imbevuti di olio di lino, polveri di ferro o nichel, fermentazione vegetali.

1.3 Cause e pericoli di incendio più comuni

Tra le cause più comuni di origine di un incendio vi sono:

- deposito o manipolazione non idonea di sostanze infiammabili o combustibili,
- accumulo di rifiuti, carta o altro materiale combustibile che può essere facilmente incendiato (accidentalmente o deliberatamente);
- negligenza nell'uso di fiamme libere e di apparecchi generatori di calore;
- temperature locali elevate in parti di macchine o impianti di processo;
- inadeguata pulizia delle aree di lavoro e scarsa manutenzione delle apparecchiature;
- anomalie o guasti di macchine o impianti di processo
- impianti elettrici o utilizzatori difettosi, sovraccaricati e non adeguatamente protetti;
- riparazioni o modifiche di impianti effettuate da persone non qualificate;
- utilizzo non corretto di impianti di riscaldamento, macchinari, apparecchiature elettriche e di ufficio;
- fumare in aree ove è proibito, o non usare il posacenere;
- negligenze di appaltatori o di addetti alla manutenzione;
- azione dolosa;
- ecc.

1.4 Innesco elettrico

Tra le diverse sorgenti di accensione da prendere in considerazione, le apparecchiature elettriche nel loro normale funzionamento sono in grado di sviluppare energie di gran lunga superiori alla minima energia di innesco. Si deve inoltre considerare che la maggior parte delle apparecchiature elettriche sono racchiuse entro custodie, sia per offrire una protezione all'apparecchiatura stessa contro agenti esterni ambientali (sollecitazioni meccaniche, penetrazione solidi e liquidi, ecc.), sia per la protezione delle persone contro i contatti diretti con parti in tensione. La custodia diventa l'interfaccia tra l'apparecchiatura in tensione e l'atmosfera esplosiva: alcune caratteristiche quali la temperatura che sviluppa la custodia nel funzionamento dell'apparecchiatura, oppure il tipo di materiale con cui è realizzata, assumono importanza fondamentale per la scelta dell'apparecchiatura elettrica.

Gli incendi di origine elettrica possono essere innescati da fonte diretta (arco elettri-

co, scarica elettrostatica, proiezione di particelle incandescenti in seguito a guasto, ad esempio cortocircuito, ecc.) oppure da fonte indiretta (elevata temperatura superficiale delle apparecchiature o degli utilizzatori).

Nel proseguo del presente documento, verranno descritte nel dettaglio le cause di origine elettrica dell'incendio. Di seguito vengono descritte le tipologie di sorgenti di innesco imputabili ai componenti di un impianto elettrico.

Arco elettrico

Un'apparecchiatura elettrica è progettata in genere per comandare, controllare, sezionare, proteggere i circuiti dell'impianto elettrico. Sia nel funzionamento normale, che in caso di guasto in una parte del circuito o dell'apparecchio, si può avere la formazione di arco elettrico. In tal caso l'apparecchiatura elettrica è riconosciuta come "scintillante". Ad esempio si forma un arco o una scintilla nel funzionamento normale in conseguenza dell'azione meccanica di apertura o chiusura dei contatti di sezionatori, interruttori, teleruttori, contatti ausiliari, ecc., o per l'intervento di un fusibile. Scintille o proiezione di materiale incandescente si possono avere in conseguenza dell'interruzione di correnti elevate in condizioni di guasto, come nel caso di cortocircuito. In generale si può dire che l'arco elettrico può essere innescato da:

- Sovratensioni (atmosferiche e di manovra);
- Filo che fonde (si ionizza l'aria e si crea un percorso conduttore);
- Inquinamento superficiale e cedimento dell'isolante (tracking);
- Arco funzionale (fusibili, interruttori);
- Cortocircuito con formazione di arco.

Temperature elevate

Una delle conseguenze del passaggio di una corrente elettrica in un circuito è un aumento della temperatura. Questo accade perché la variazione di temperatura è proporzionale al quadrato della corrente (effetto Joule). L'effetto Joule in un'apparecchiatura elettrica si manifesta a causa di:

- Passaggio della corrente nominale (funzionamento normale);
- Sovracorrenti (Cortocircuito, Sovraccarico);
- Correnti di guasto verso terra (Guasto a Terra);
- Resistenza localizzata (Cattivo Contatto);
- Guasto nelle apparecchiature o negli utilizzatori (a valle della presa a spina).

Anche se l'apparecchiatura è protetta da una custodia, parte del calore viene trasferito alla custodia stessa che assume una temperatura che, nel funzionamento normale, si stabilizza quando si raggiunge il regime termico.
Un aumento incontrollato della temperatura può divenire causa di innesco del materiale combustibile con cui è realizzata la custodia e/o dei materiali combustibili nei pressi dell'apparecchiatura elettrica.
Il fenomeno del riscaldamento per effetto Joule coinvolge anche altri componenti dell'impianto elettrico, quali ad esempio le condutture, sia nel funzionamento normale che in caso di guasto.

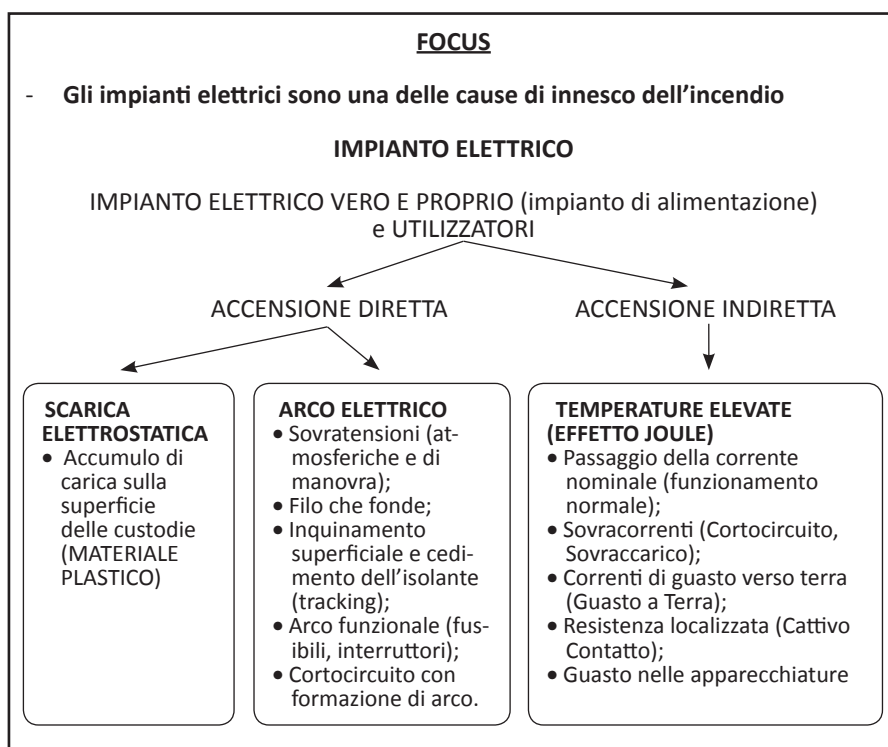
Scarica elettrostatica

Nella costruzione delle apparecchiature elettriche per isolare le parti in tensione dei componenti elettrici vengono utilizzate resine plastiche, mentre per gli involucri che contengono i componenti sono impiegate sia le resine plastiche, sia le leghe metalliche. Il materiale con cui sono realizzate le apparecchiature elettriche diviene di fondamentale importanza per il rischio di accumulo di carica e la relativa scarica elettrostatica che può innescare l'incendio.
Anche l'elettricità statica accumulata dalle persone può costituire una fonte pericolosa di innesco, ad esempio attraverso gli abiti indossati da un operatore oppure semplicemente camminando su un pavimento in materiale non conduttivo sul quale a sua volta sono accumulate cariche. Nel momento in cui la persona "carica" viene in contatto con un oggetto, quale la custodia di un'apparecchiatura elettrica o una parte dell'impianto, a diverso potenziale, avviene la scarica elettrostatica che si manifesta con una scintilla.

In generale, nelle normali operazioni svolte in un impianto industriale vi sono molte situazioni in cui si può accumulare carica elettrostatica, ad esempio:

- nelle operazioni di pulizia dell'interno di serbatoi vuoti in cui sono normalmente contenenti liquidi infiammabili, mediante l'uso di acqua o vapore ad alta pressione, si può verificare accumulo di carica pericolosa per l'innesco dei vapori ancora presenti all'interno dei serbatoi. Per questo motivo i serbatoi vengono in genere riempiti di gas inerte durante le operazioni di pulizia;
- nel processo di sabbiatura dei metalli si accumula una notevole quantità di carica a causa della velocità di movimento della sabbia;
- il carico o lo scarico di un serbatoio contenente liquido infiammabile, così come le operazioni di carico e scarico di silos contenenti polveri combustibili. In tali casi in genere si utilizzano serbatoi e silos metallici in modo tale da poter equipotenzializzare il sistema serbatoi/silos con il sistema

si carico/scarico, collegando entrambi i sistemi a terra. Capita a volte che piccoli silos vengano realizzati in materiale non metallico, in questo caso il costruttore del silos destinato a contenere atmosfera esplosiva, esegue l'analisi del rischio di accumulo di cariche elettrostatiche del materiale e comunica attraverso le istruzioni per l'uso e la manutenzione le informazioni per eseguire le operazioni in sicurezza;

- il movimento di liquidi o polveri, all'interno di sistemi di trasporto, con velocità superiori a 1 m/s generano accumulo di carica elettrostatica;
- ecc.

1.5 I prodotti della combustione

I prodotti della combustione sono suddivisibili in quattro categorie:

- **gas di combustione**
- **fiamme**
- **fumo**
- **calore**

GAS DI COMBUSTIONE

I gas di combustione sono quei prodotti della combustione che rimangono allo stato gassoso anche quando raggiungono raffreddandosi la temperatura ambiente di riferimento 15°C.
I principali gas di combustione sono:

ossido di carbonio (CO)	**aldeide acrilica**
anidride carbonica (CO_2)	**fosgene**
idrogeno solforato	**ammoniaca**
anidride solforosa	**ossido e perossido di azoto**
acido cianidrico	**acido cloridrico (HCl)**

La produzione di tali gas dipende dal tipo di combustibile, dalla percentuale di ossigeno presente e dalla temperatura raggiunta dall'incendio. Nella stragrande maggioranza dei casi, la mortalità per incendio è da attribuire all'inalazione di questi gas che producono danni biologici per anossia o per tossicità

FIAMME

Le fiamme sono costituite dall'emissione di luce conseguente alla combustione di gas sviluppatisi in un incendio.
In particolare nell'incendio di combustibili gassosi è possibile valutare approssimativamente il valore raggiunto dalla temperatura di combustione dal colore della fiamma.

FUMO

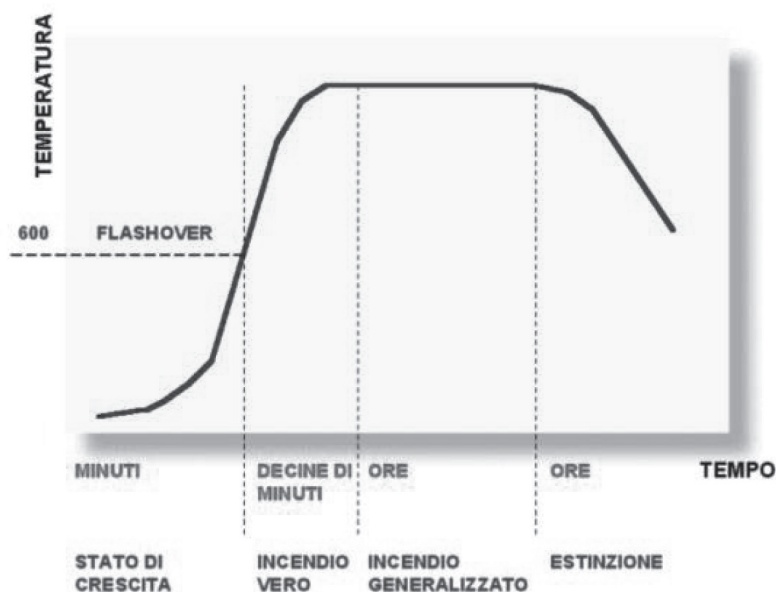
I fumi sono formati da piccolissime particelle solide (aerosol), liquide (nebbie o vapori condensati).
Le particelle solide sono sostanze incombuste che si formano quando la combustione avviene in carenza di ossigeno e vengono trascinate dai gas caldi prodotti della combustione stessa.
Normalmente sono prodotti in quantità tali da impedire la visibilità ostacolando l'attività dei soccorritori e l'esodo delle persone.
Le particelle solide dei fumi che sono incombusti e ceneri rendono il fumo di colore scuro.
Le particelle liquide, invece, sono costituite essenzialmente da vapor d'acqua che al di sotto
dei 100°C condensa dando luogo a fumo di color bianco.

CALORE

Il calore è la causa principale della propagazione degli incendi (formazione di vapori infiammabili dalla superficie dei liquidi e pirolisi dei combustibili solidi con conseguente formazione di vapori infiammabili).
Realizza l'aumento di temperatura di tutti i materiali e i corpi esposti, provocandone il danneggiamento fino alla distruzione.

1.6 Dinamica dell'incendio

Nell'evoluzione dell'incendio si possono individuare quattro fasi caratteristiche:

- **Fase di ignizione**
- **Fase di propagazione**
- **Incendio generalizzato (flash over)**
- **Estinzione e raffreddamento**

<u>IGNIZIONE</u>

Una sorgente di accensione riscalda il combustibile in presenza di comburente. La sua temperatura cresce finché non si innesca la reazione di ossidazione con rilascio di calore, che a seconda del tipo di combustibile innesca i fenomeni di evaporazione di vapori infiammabili (liquidi) o pirolisi con conseguente formazione di vapori infiammabili (solidi), visti in precedenza, che autoalimentano la combustione.

PROPAGAZIONE

Dopo le prime fasi, l'incendio, in fase di crescita, si propaga in modo indipendente dalle condizioni di ventilazione del locale: è più importante la prossimità con un altro combustibile.
Caratterizzato da:

- produzione dei gas tossici e corrosivi;
- riduzione di visibilità a causa dei fumi di combustione;
- aumento della partecipazione alla combustione dei combustibili solidi e liquidi;
- aumento rapido delle temperature;
- aumento dell'energia di irraggiamento.

FLASH OVER

Caratterizzato da:

- brusco incremento della temperatura;
- crescita esponenziale della velocità di combustione;
- forte aumento di emissioni di gas e di particelle incandescenti, che si espandono e vengono trasportate in senso orizzontale, e soprattutto in senso ascensionale; si formano zone di turbolenze visibili;
- i combustibili vicini al focolaio si autoaccendono, quelli più lontani si riscaldano e raggiungono la loro temperatura di combustione con produzione di gas di distillazione infiammabili.

E' lo stadio in cui si ha il MASSIMO RILASCIO DI CALORE: particelle di incombusti possono lasciare il locale ad elevata temperatura ed innescare combustione al di fuori, in presenza di nuovo comburente.

ESTINZIONE E RAFFREDDAMENTO

Quando l'incendio ha terminato di interessare tutto il materiale combustibile ha inizio la fase di decremento delle temperature all'interno del locale a causa del progressivo diminuzione dell'apporto termico residuo e della dissipazione di calore attraverso i fumi e di fenomeni di conduzione termica.

Tra i parametri caratteristici di un incendio, il più significativo della velocità con cui si sviluppa l'incendio è l'andamento nel tempo della potenza termica emessa (HRR – Heat Release Rate, espressa in kW).
L'area sottostante alla curva HRH-tempo (integrale della funzione per la durata dell'incendio) misura l'energia totale sviluppata. Con valori di HRR elevati, si hanno elevate Temperature locali e forti sviluppi di gas e fumi.

Dopo l'innesco della pirolisi il combustibile brucia, consuma aria e progredisce richiedendone quantità sempre maggiori; se ci sono condizioni per lo sviluppo:

- la temperatura dello strato di gas cresce;
- il flusso termico prodotto cresce ed investe tutti i materiali presenti;
- ad un certo istante tutto il combustibile brucia (flash over) ed aumentano, quasi a gradino, temperatura e la potenza termica emessa (HRR).

Il flash-over è una fase di transizione in corrispondenza della quale la temperatura di gas caldi a soffitto raggiunge il valore di 600 °C e il flusso termico a pavimento è pari a 20 kW / m^2 (da definizione normativa).
In genere, prima del flash over, i vetri degli infissi si rompono e l'aria fresca entra ad alimentare l'incendio. Poiché l'aria entrante non è sufficiente a far bruciare all'interno tutti i vapori e le particelle, parte dei prodotti di pirolisi lascia il compartimento per reagire all'esterno: le fiamme fuoriescono dalle aperture e minor rilascio di energia termica in ambiente, con conseguenti minori temperature ambiente rispetto a quelle teoriche.

2 DATI STATISTICI DELL'INCENDIO ELETTRICO

Risulta difficile fare riferimento a statistiche accurate sugli incendi di origine elettrica nel nostro paese, non essendovi un organo tecnico a livello nazionale che se ne occupi con attività continua.
Se un tale gruppo di lavoro si dedicasse continuamente alla raccolta delle informazioni relative agli incendi, l'analisi per gli incendi di origine elettrica dovrebbe essere condotta tenendo in considerazione la tipologia di ambiente, ovvero la destinazione d'uso del luogo/edificio, e da quale componente è cominciato l'incendio.
Fare una statistica sugli incendi di origine elettrica è un lavoro non banale e che richiede attente considerazioni. Infatti il primo scoglio che si può incontrare è la "fonte" dell'informazione.

Le notizie degli incendi possono arrivare dai rapporti degli interventi dei VV.F, ma è noto che non tutti gli incendi richiedono l'intervento dei VV.F. Se i Vigili del Fuoco intervengono, nell'individuare l'origine dell'incendio si trovano nella difficoltà nota che l'azione di spegnimento contribuisce a cancellare le tracce dell'origine dell'incendio ed inoltre lo stesso incendio tende a cancellare la propria origine.
Un'altra fonte utilizzata è in genere quella giornalistica, che tuttavia riporta solamente incendi di una certa rilevanza in termini di danno alle cose e persone. La fonte giornalistica non è affidabile nell'individuare le cause dell'incendio (la tendenza è quella di incolpare il cortocircuito), ma può essere interessante per la statistica sul tipo di edificio in relazione alla sua destinazione d'uso (abitazione, industria, luogo di pubblico spettacolo, ecc.).
In mancanza di uno studio univoco sulle statistiche degli incendi di origine elettrica, di seguito riportiamo l'esito di alcuni studi condotti da "addetti ai lavori" pubblicati dalla rivista tecnica TuttoNormel, a partire dal 1986, che nel corso degli anni hanno contribuito ad affrontare il problema anche in sede normativa.

Nel settembre del 1987, fu presentata alla riunione annuale dell'AEI a Catania uno studio realizzato da V. Carrescia, E. Pastore, L. Roccati e R. Tommasini, relativo ad una indagine condotta per l'anno 1986 nel territorio del Tribunale di Torino, in collaborazione con il Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco.
Nell'arco dell'anno 1986, nella zona di osservazione, comprendente 163 comuni, si verificarono negli edifici 1019 incendi. Di questi il Comando dei Vigili del Fuoco attribuì alla causa elettrica 274 incendi, ovvero circa il 27%.
Lo studio dimostrò che dei 274 incendi il 49% fu provocato dall'impianto elettrico vero e proprio (condutture, quadri, ecc.) e il 51% dagli apparecchi utilizzatori. Tra questi ultimi si distinsero i televisori, le coperte riscaldanti e gli apparecchi di illuminazione.

Nel 1989 l'ing. D'Addato elaborò le statistiche edite dal Ministero dell'Interno a partire dal 1963, per analizzare l'andamento delle cause di incendio nei locali di pubblico spettacolo (cinema, teatri, sale da ballo, impianti sportivi, ecc.), negli anni compresi tra il 1965 e il 1984. Il controllo delle commissioni provinciali di vigilanza dei locali di pubblico spettacolo rendeva abbastanza attendibili i dati raccolti.
Il risultato dell'elaborazione portò a considerare che le "cause elettriche di incendio" oscillavano tra il 20 e il 30% annuo (valori riscontrabili anche nella letteratura straniera).

Per individuare, su un certo numero di incendi di origine sicuramente elettrica, la percentuale di cause attribuibili veramente all'impianto elettrico di alimentazione (fino alla presa a spina) e la percentuale di cause dovute invece agli utilizzatori, lo

stesso autore dello studio effettuò una ricerca nella provincia di Macerata analoga a quella svolta nel 1987 per la provincia di Torino.
La ricerca evidenziò che il 45% degli incendi di natura elettrica era da attribuirsi all'impianto elettrico, mentre il 55% era causato dall'utilizzatore. Tra questi ultimi il numero più elevato di incendi era da attribuirsi a televisori, motori elettrici e insegne luminose, lavatrici.

Nel biennio 1994-1995 TuttoNormel, in collaborazione con IMQ (Istituto Italiano del Marchio di Qualità), condusse uno studio sulle notizie giornalistiche relative agli incendi. Su 1294 notizie di incendio pubblicate dai giornali di tutta Italia, il 40% era imputato a origine di natura elettrica. Se i dati relativi all'individuazione della natura dell'origine è poco affidabile, maggiore interesse suscita l'individuazione del tipo di edificio in cui si svilupparono gli incendi elettrici.
Il primato fu attribuito agli edifici civili (38%) seguiti dagli stabilimenti industriali (17%). Il quadro completo è illustrato nella tabella seguente.

Luogo	Numero incendi elettrici	Percentuale (%)
Edifici civili	492	38
Stabilimenti industriali	220	17
Locali commerciali	117	9
Bar-ristoranti	77	6
Uffici	52	4
Locali medici	35	2,7
Strutture alberghiere	26	2
Laboratori artigianali	26	2
Ambienti agricoli	19	1,5
Scuole	19	1,5
Altro	211	16,3
TOTALE	1294	100

Nonostante la fonte giornalistica sia poco attendibile, emersero i noti protagonisti tra i componenti dell'impianto: quadri elettrici, televisori, condutture, contatori, coperte elettriche, frigoriferi e prese a spina.

Un gruppo di lavoro costituito dalla Direzione Generale della Protezione Civile e dei Servizi Antincendi del Ministero dell'Interno, elaborò uno studio per individuare le cause degli incendi avvenuti nel periodo 1990-1999 nei luoghi di pubblico spettacolo e nelle attività alberghiere. Lo studio fu condotto sulla base degli interventi dei VV.F, selezionando 500 incendi di grande rilevanza. Lo studio ha evidenziato le seguenti percentuali di incendi di origine elettrica:

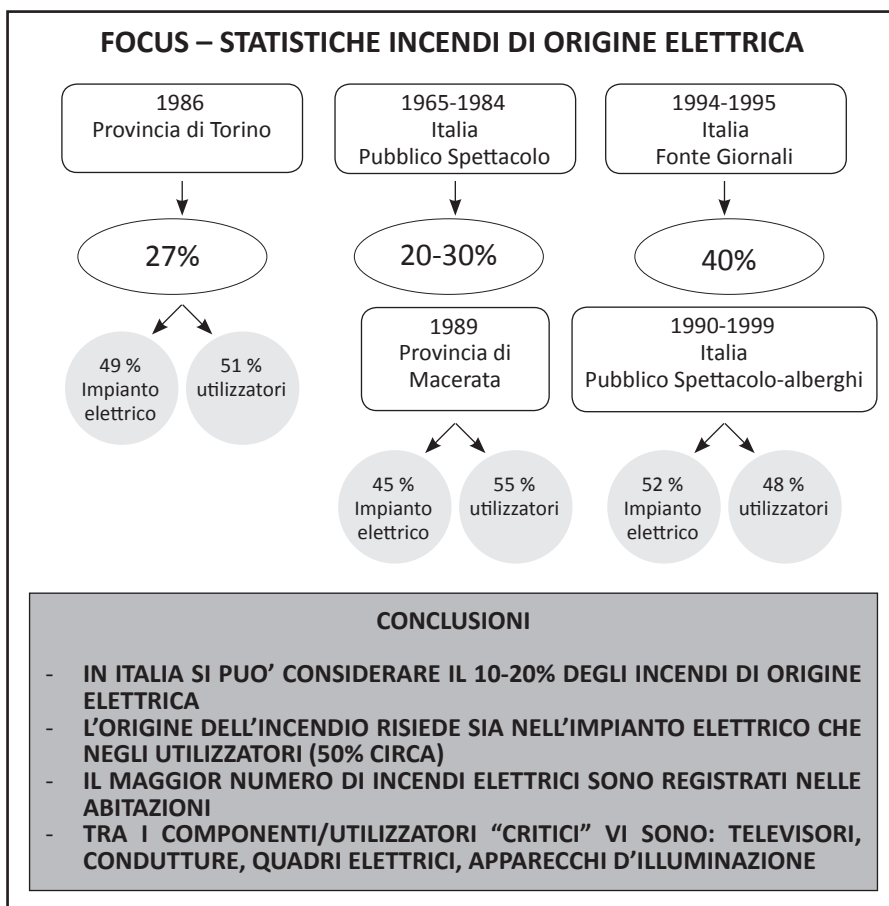
- Locali commerciali e scuole: 14%
- Locali di pubblico spettacolo 14%
- Strutture alberghiere: 18%
- Case di riposo: 34%

Per quanto riguarda gli alberghi furono individuate quali cause degli incendi: il 52% imputabili agli impianti ed il 48% agli apparecchi utilizzatori.

Infine può essere interessante volgere lo sguardo anche verso altri paesi particolarmente sensibili al fenomeno dell'incendio. Le statistiche degli atri paesi indicano le seguenti percentuali per gli incendi di origine elettrica negli edifici:

- Regno Unito: 30%
- Finlandia: 42%
- Russia 21%

Nei quali i componenti maggiormente interessati sono (in ordine di percentuale):

- Regno Unito: condutture elettriche, apparecchi d'illuminazione, apparecchi industriali
- Finlandia: forni e stufe elettriche (caratteristica finlandese legata all'utilizzo di saune), impianto elettrico di alimentazione, apparecchi d'illuminazione, televisori (in diminuzione)
- Russia: condutture elettriche, televisori, quadri elettrici

3 CAUSE D’INCENDIO DI ORIGINE ELETTRICA

Affinché si verifichi un incendio è necessario che coesistano, nello stesso luogo e istante, il combustibile, il comburente e una sorgente di ignizione di energia sufficiente ad iniziare la reazione di combustione.
Gli impianti elettrici possono essere in grado di ricoprire due delle tre condizioni per lo sviluppo dell’incendio. Sono in grado di costituire la sorgente di innesco, in relazione alla propria natura di insieme di componenti che possono scintillare ed

all’effetto termico dovuto alla circolazione di corrente elettrica. Allo stesso tempo i materiali isolanti con cui sono realizzati i componenti (condutture, interruttori, custodie, ecc.) sono oramai costituiti per la maggior parte da materiale plastico (polimeri di idrocarburi con elevate qualità di isolanti elettrici, ma che sono combustibili).

Per definizione gli impianti elettrici sono “impianti di servizio”, ovvero hanno la funzione di alimentare e comandare gli utilizzatori elettrici. Un utilizzatore elettrico è di fatto un’apparecchiatura elettrica che trasforma l’energia elettrica in energia meccanica, o altra forma, a seconda dello scopo per cui è costruita e dell’ambiente in cui è destinata. Ad esempio, sono utilizzatori gli elettrodomestici destinati alle abitazioni, oppure le macchine utensili quali i trapani nelle officine. Anche negli apparecchi utilizzatori è ormai diffusa la materia plastica come isolante, sia per la componentistica interna (costituita in parte da componenti elettrici), sia per gli involucri esterni (si pensi al televisore).

Un apparecchio elettrico utilizzatore può essere connesso all’impianto elettrico direttamente, caso in cui il cavo di alimentazione è direttamente cablato sulla morsettiera dell’apparecchio stesso, oppure mediante una presa a spina. In quest’ultimo caso, la presa è l’ultimo componente dell’impianto elettrico (interfaccia tra impianto e utilizzatore).

Una sorgente di innesco si può manifestare sia nei componenti dell’impianto elettrico, sia nell’utilizzatore. In entrambi i casi l’innesco può venire a trovarsi in contatto diretto con il materiale combustibile con cui sono costruiti.
Se invece i componenti dell’impianto elettrico sono “innocenti” e non vi sono fenomeni di accensione ad essi imputabili, permane comunque il rischio che una sorgente di accensione esterna (parte incandescente o temperatura elevata) oppure una combustione in corso nei pressi dei componenti, possano accendere i materiali con cui questi ultimi sono costruiti e propagare l’incendio.

In conclusione possiamo dire che per prevenire l’incendio di origine elettrica sarà necessario adottare delle precauzioni:

- affinché l’impianto elettrico sia realizzato in modo tale da non costituire sorgente di accensione;
- affinché i l’installazione dell’impianto elettrico e i materiali con cui sono realizzati i componenti dell’impianto stesso, non siano tali da propagare l’incendio;
- affinché gli utilizzatori non costituiscano causa di innesco, né i materiali con cui sono realizzati siano in grado di propagare l’incendio.

Ai fini della nostra trattazione, prenderemo in considerazione solo l'impianto elettrico e i componenti che lo costituiscono, fino alla presa a spina.

FOCUS

Per prevenire l'incendio di origine elettrica si deve considerare che:

- **Un sistema elettrico è costituito dall'impianto elettrico vero e proprio, costituito dai propri componenti (condutture, quadri elettrici, prese a spina, ecc.), e dagli utilizzatori elettrici (motori, televisore, macchina industriale, ecc.)**
- **L'impianto elettrico vero e proprio può essere sia sorgente di accensione che veicolo di propagazione (materiale con cui sono costruiti i componenti)**
- **Gli utilizzatori possono essere anch'essi sorgente di accensione e veicolo di propagazione (materiale con cui sono costruiti)**

SERVONO REGOLE/PRECAUZIONI PER LA COSTRUZIONE/REALIZZAZIONE E SCELTA MATERIALI, SIA PER L'IMPIANTO ELETTRICO CHE PER GLI UTILIZZATORI

La costruzione dei componenti dell'impianto elettrico e dei prodotti elettrici è di competenza dei costruttori dei componenti e prodotti stessi, che hanno il compito di realizzarli in modo tale da prendere i provvedimenti necessari affinché non siano in grado di costituire sorgente di innesco. Allo stesso tempo operano la scelta dei materiali da costruzione, in funzione di esigenze produttive, proprietà di isolamento elettrico e in modo tale che siano più o meno in grado di propagare l'incendio.
Poiché la destinazione d'uso dei prodotti elettrici è frutto dell'ambiente d'installazione, il costruttore opera delle scelte eseguendo un'analisi di rischio del prodotto e comunica le proprietà del componente elettrico realizzato attraverso contrassegni e istruzioni per l'uso. L'impiantista sceglie dal mercato il prodotto idoneo (caratteristiche, materiali, ecc.) in funzione dell'ambiente di installazione, le condizioni ambientali e i rischi legati all'utilizzo dell'impianto elettrico.
A partire dagli anni '70 la normativa tecnica si è occupata del problema del pericolo di incendio relativamente all'impianto elettrico e ha fissato le prescrizioni minime che devono essere osservate sia dai costruttori, sia dagli impiantisti.

Nella normativa europea alla fine degli anni '60, il pericolo d'incendio originato all'interno di un prodotto elettrico non era sufficientemente considerato con attenzione, al contrario della normativa statunitense.
All'inizio degli anni '70 il fenomeno degli incendi di prodotti elettrici è divenuto preoccupante, in relazione all'enorme aumento dell'uso dei prodotti elettrici, in particolare elettrodomestici, e soprattutto della sostituzione nella loro costruzione dei

materiali ceramici, metallici o poco infiammabili come materiali plastici termoindurenti con materiali plastici a base di polimeri (materiali termoplastici).

La conseguenza è lo sviluppo di un **approccio "europeo" al problema dell'incendio**, così impostato:

a) identificare tutte le possibili cause d'incendio interne al prodotto e prendere i provvedimenti necessari per impedire che l'incendio abbia origine;
b) nel caso non si abbia la certezza di aver evitato tutte le possibili sorgenti interne di accensione, prendere provvedimenti perché l'eventuale incendio rimanga confinato nelle immediate vicinanze della sorgente, senza propagarsi ad altre parti combustibili all'interno dell'apparecchio;
c) nel caso che non si possibile né evitare con certezza l'accensione dell'incendio, né confinarlo nelle immediate vicinanze della sorgente, prendere i provvedimenti necessari affinché in nessun modo possa propagarsi all'esterno del prodotto.

Ovviamente la filosofia della prevenzione impone la soluzione a), mentre le soluzioni b) e c) devono essere verificate anche in relazione ai danneggiamenti che può subire il prodotto tali da inficiare la prevenzione del rischio elettrico (contatti diretti, indiretti, ecc.).
Il confinamento dell'incendio all'interno dell'apparecchiatura può essere realizzato per mezzo dell'involucro, che deve essere realizzato con materiale non combustibile (ad esempio metallo) oppure in materiale combustibile ma "autoestinguente", con caratteristiche determinate e con spessore adeguato (la velocità di propagazione della fiamma dipende dalla densità del materiale e dallo spessore: elevate densità e spessori conferiscono inerzia termica elevata).
Alcune delle prove sui materiali previste dalle Norme Europee saranno descritte più avanti in un paragrafo dedicato.

L'approccio americano si basa sull'impiego sistematico di materiali non combustibili oppure autoestinguenti per la costruzione di tutte le parti dell'apparecchiatura elettrica (interne e involucro), adottando il metodo della "preselezione dei materiali". La preselezione dei materiali, da parte del costruttore dell'apparecchiatura, consiste nella scelta di materiali classificati sulla base di prove eseguite in modo convenzionale su provini di dimensioni normalizzate. Per la preselezione il costruttore fa riferimento alla vasta banca dati realizzata da UL (Underwriters Laboratories – laboratorio indipendente presente sul territorio nord americano), che consiste nella raccolta dei vari dati caratteristici dei materiali plastici di maggior utilizzo nel mondo.
In particolare i materiali vengono classificati in base alla Norma UL94, a seconda del

tipo di materiale e spessore del provino, come a lenta combustione (HB), oppure autoestinguenti (V2, V1, V0, 5V), come vedremo in seguito.
Un apparecchiatura elettrica marchiata UL è realizzata con materiali appartenenti a tale banca dati e il materiale è caratterizzato dalla cosiddetta "carta gialla" che ne stabilisce le caratteristiche.

3.1 L'influenza dell'impianto elettrico in un incendio

Partendo dal presupposto che il costruttore delle apparecchiature e componenti elettrici esegua una analisi del prodotto nei confronti dell'innesco e propagazione dell'incendio, rimangono da valutare una serie di fattori:

- la corretta scelta dell'apparecchiatura in funzione delle condizioni di installazione e servizio, compresi i rischi dovuti all'ambiente di installazione;
- un impianto elettrico è un insieme di componenti che tra di loro devono essere interconnessi senza inficiare le singole caratteristiche di prevenzione dell'incendio;
- a seconda del sistema elettrico di distribuzione l'impianto elettrico deve essere dotato di protezioni differenti a seconda del tipo di guasto, sia per la protezione contro il rischio elettrico che contro il rischio d'incendio;
- a seconda della funzione dell'impianto elettrico, può essere necessario che questi abbia caratteristiche differenti di comportamento al fuoco, ad esempio se è richiesto che alimenti utilizzatori che devono continuare a funzionare in presenza di un incendio. In tal caso la scelta dei componenti deve avere criteri specifici riguardo alle caratteristiche dei materiali;
- ecc.;

tutti compiti che sono a carico del progettista degli impianti elettrici e dell'installatore degli impianti, che deve osservare le prescrizioni e le scelte del progetto.

FOCUS

Il costruttore dichiara che il proprio componente/apparecchio elettrico possiede determinate caratteristiche contro innesco e propagazione dell'incendio, ma il progettista degli impianti deve:
- **Scegliere i componenti in relazione alle sollecitazioni ambientali;**
- **Scegliere i componenti in relazione al rischio specifico di incendio nel luogo di installazione;**
- **Progettare la distribuzione dell'impianto, le protezioni e l'insieme dei componenti in modo tale che in nessun caso (funzionamento normale o guasto) l'impianto elettrico possa innescare e/o propagare l'incendio;**
- **Scegliere i componenti idonei per gli impianti, da cui dipende la sicurezza delle persone e che devono funzionare anche durante un incendio;**
- **Fissare le prescrizioni per una corretta installazione;**

Se è vero che un consistente numero di incendi ha origine dall'impianto elettrico (causa dell'innesco), non è sempre vero che la causa principale di un incendio elettrico è il cortocircuito. Verranno di seguito analizzati i fenomeni elettrici, sia riconducibili a situazioni di guasto, sia dovuti a "circuiti elettricamente sani", che sviluppano l'energia sufficiente all'innesco di materiali combustibili.
Che l'incendio sia originato dall'impianto elettrico, o meno, si deve inoltre considerare che spesso i componenti stessi dell'impianto sono di materiale combustibile e pertanto contribuiscono allo sviluppo ed alla propagazione dell'incendio.

Innesco e propagazione dell'incendio sono quindi le azioni da prevenire per poter considerare l'impianto elettrico esente da responsabilità in caso di incendio.

L'impianto elettrico assume un ruolo fondamentale anche per l'alimentazione di tutti quegli impianti che sono necessari alla gestione del rischio, durante l'emergenza in caso di incendio. Gli impianti di sicurezza (rivelazione dell'incendio, estinzione, illuminazione di sicurezza, diffusione sonora, ecc.) sono infatti alimentati dall'impianto elettrico, che in questo caso è chiamato a funzionare durante l'incendio, per il tempo necessario a consentire l'evacuazione in sicurezza delle persone.

FOCUS

In conclusione, l'influenza dell'impianto elettrico in un incendio si può riassumere nei seguenti tre punti fondamentali:

1) **L'impianto elettrico è la causa che origina l'incendio: il RISCHIO ELETTRICO si traduce in un evento che INNESCA l'INCENDIO.**
2) **L'impianto elettrico è veicolo di PROPAGAZIONE DELL'INCENDIO, originato da cause elettriche oppure non elettriche, attraverso il materiale combustibile dei componenti dell'impianto.**
3) **L'impianto elettrico è a SERVIZIO DEGLI IMPIANTI DI SICUREZZA contro l'incendio.**

4 L'INNESCO ELETTRICO

L'innesco di un incendio di origine elettrica, avviene essenzialmente in conseguenza a due eventi:

a) Sviluppo di calore per effetto Joule;
b) Sviluppo di una elevata energia dovuta all'arco elettrico.

4.1 L'Effetto Joule

Una delle conseguenze del passaggio di una corrente elettrica in un circuito è un aumento della temperatura. Questo accade perché la variazione di temperatura (gradiente di temperatura Δθ) è proporzionale al quadrato della corrente:

$$\Delta\theta = k \cdot I^2 \qquad [1]$$

Ove:

I è la corrente che circola nel circuito elettrico interessato;
k è una costante che dipende dalla resistenza R del circuito (conduttori, ecc.).

Poiché la resistenza R di un conduttore è proporzionale alla *resistività elettrica ρ*, che a sua volta aumenta con la temperatura, il fenomeno si auto esalta.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \qquad [2]$$

Ove:

l è la lunghezza del conduttore;
S è la sezione del conduttore;
ρ è la resistività del materiale che dipende dalla temperatura secondo la seguente equazione:

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \theta) \qquad [3]$$

In conclusione: l'aumento di corrente innalza la temperatura, che a sua volta provoca l'aumento della resistenza R, aumentando il prodotto $k \cdot I^2$, che causa un ulteriore aumento di temperatura, e l'aumento di temperatura si auto esalta.
Se il fenomeno perdura, il forte calore prodotto può innescare l'incendio di sostanze combustibili.
L'effetto Joule si può sviluppare nei conduttori, caso in cui si può verificare l'innesco di sostanze combustibili prossime ai conduttori stessi, oppure nelle apparecchiature elettriche, magari all'interno di un quadro elettrico o di una custodia, e innescare il materiale combustibile con cui sono costruiti gli stessi apparecchi elettrici.

FOCUS

L'EFFETTO JOULE SI PUÒ MANIFESTARE A CAUSA DI:

- **Sovracorrenti (Cortocircuito, Sovraccarico);**
- **Correnti di guasto verso terra (Guasto a Terra);**
- **Resistenza localizzata (Cattivo Contatto);**
- **Guasto nelle apparecchiature.**

4.1.1 Sovracorrenti nei cavi

Le apparecchiature elettriche sono caratterizzate da un valore nominale della corrente (In), in genere specificato dai dati di targa. Ogni cavo ha la caratteristica di essere idoneo a "portare" un determinato valore massimo di corrente. Tale valore dipende da: sezione del conduttore, tipo di isolante del cavo e tipologia di posa del cavo (in aria, in tubo, interrato, ecc.). Una sovracorrente è una qualsiasi corrente superiore alla portata del cavo.
In generale, un'apparecchiatura o un cavo funzionano in regime di sovracorrente tutte le volte che sono interessati da un valore di corrente maggiore di quello nominale.
A seconda della causa che la genera, una sovracorrente può essere:

- Sovracorrente per **sovraccarico**, caratteristica di un circuito *elettricamente sano* (non vi sono guasti);
- Sovracorrente per **cortocircuito**, caratteristica di un circuito con un guasto tra due punti a diverso potenziale.

Vi sono inoltre due particolari fenomeni che possono generare delle sovracorrenti: la presenza di armoniche e la posa di cavi in parallelo.

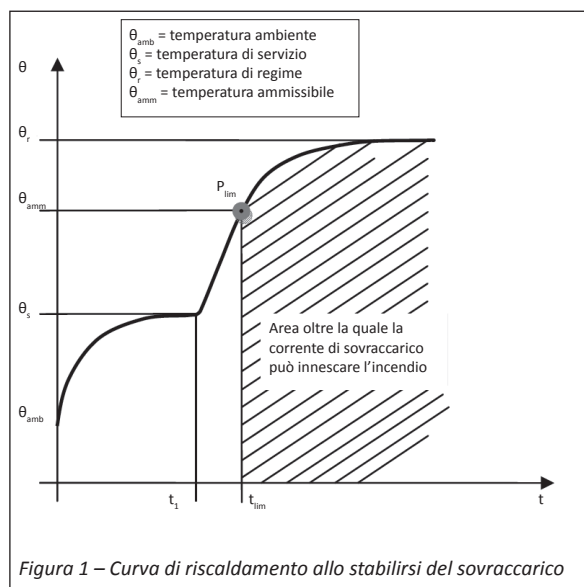
4.1.1.1 Sovraccarico

Il sovraccarico è tipico di un circuito elettricamente sano, interessato da una corrente maggiore di quella nominale. Un sovraccarico non produce correnti di valore molto elevato, ma in genere "vicini" a quella nominale (fino ad un massimo di 6-8 volte In).
Apparecchiature elettriche e cavi sono in genere atti a sopportare tali valori di corrente, ma se la corrente di sovraccarico non viene interrotta dalle protezioni e persiste nel tempo, aumenta di conseguenza la temperatura secondo l'equazione [1].

La fig. 1 rappresenta graficamente l'andamento della temperatura in un circuito in cui al tempo t_1 si stabilisce un sovraccarico. Quando la corrente, anche di modesto valore, persiste nel tempo, la temperatura aumenta fino a valori che superano le temperature ammissibili dei componenti (funzionamento a destra del punto P_{lim}).

Gli effetti possono essere:

1) il degrado dell'isolante del cavo fino a provocare il cortocircuito (si veda il paragrafo seguente);
2) il raggiungimento di temperature del componente elettrico e del cavo, tali da innescare il materiale combustibile con cui sono costruiti. Infatti il cavo, percorso dalla sovracorrente, può raggiungere temperature tali da non riuscire più a smaltire il calore sviluppato per effetto Joule e l'isolante brucia. Quando il cavo interessato dal sovraccarico è un conduttore di cablaggio interno di una apparecchiatura (quadro elettrico, presa interbloccata, ecc.), la combustione dell'isolante può innescare altri componenti interni in materiale combustibile (morsetti, interruttori, ecc.) fino a causare l'incendio dell'apparecchiatura stessa, se l'involucro esterno è in materiale combustibile.
3) il raggiungimento di temperature del componente elettrico e del cavo, tali da innescare materiali combustibili nelle vicinanze.

Figura 1 – Curva di riscaldamento allo stabilirsi del sovraccarico

Esperimenti di laboratorio hanno dimostrato che sovracorrenti di bassa intensità persistenti per tempi lunghi, non interrotte dai dispositivi di protezione, INNESCANO L'INCENDIO.

Il sovraccarico si può verificare ad esempio in caso di motore con rotore bloccato per un guasto meccanico (il circuito elettrico è sano, il guasto è meccanico); oppure, a causa di un carico eccessivo derivato dal circuito prese oppure dovuto ad un coefficiente di contemporaneità occasionalmente maggiore di quello previsto nel progetto dell'impianto.

FOCUS

SOVRACORRENTI NEI CAVI: L'EFFETTO DELLE SOVRACORRENTI

- **degrado dell'isolante del cavo fino a provocare il cortocircuito**
- **temperature del componente elettrico e del cavo, tali da innescare il materiale combustibile con cui sono costruiti;**
- **temperature del componente elettrico e del cavo, tali da innescare materiali combustibili nelle vicinanze**

SOVRACORRENTI DI BASSA INTENSITÀ PERSISTENTI PER TEMPI LUNGHI, NON INTERROTTE DAI DISPOSITIVI DI PROTEZIONE, INNESCANO L'INCENDIO

4.1.1.2 Cortocircuito

Per cortocircuito s'intende la condizione anomala di funzionamento che determina un guasto.
La corrente di cortocircuito si può stabilire a seguito di un guasto, ad esempio un collegamento a bassissima impedenza che viene ad instaurarsi tra le fasi di un circuito, tra di esse e la terra o, più in generale, tra parti a differente tensione di macchine o impianti. In questo caso si parla di cortocircuito franco e la corrente di guasto assume un valore molto più elevato di quello relativo al normale funzionamento.
La corrente di cortocircuito deve pertanto essere interrotta, a tale scopo le norme impiantistiche prescrivono l'obbligo di proteggere il cavo contro il cortocircuito mediante dispositivi di interruzione (fusibili, interruttori), dimensionati in modo tale da essere in grado di interrompere la corrente di cortocircuito senza danni.
L'interruzione della corrente di cortocircuito avviene nel tempo necessario al dispositivo per aprire il circuito (fusione del conduttore nel fusibile, oppure apertura dei contatti nell'interruttore). In questo tempo il dispositivo di interruzione lascia passare una quantità di energia proporzionale al quadrato della corrente e al tempo di interruzione. In Figura 2 è riportato un esempio di corrente di cortocircuito di 10 kA, con il valore dell'energia passante espressa in MA^2s.

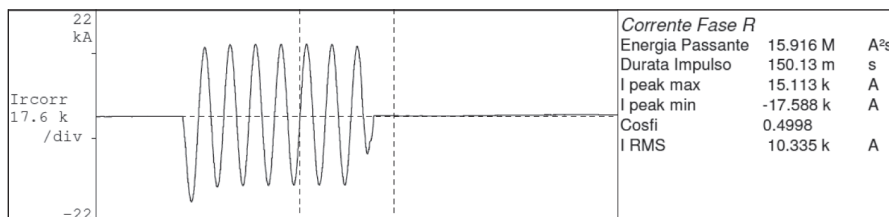



Figura 2 – Esempio di corrente di cortocircuito (10 kA)

A differenza del sovraccarico, il surriscaldamento è dovuto a una corrente molto intensa, dell'ordine di migliaia di ampere a seconda della posizione del guasto lungo l'impianto, che genera energie elevatissime. Il dispositivo di protezione dovrà essere in grado di interrompere il valore della corrente di cortocircuito nel minor tempo possibile, limitando l'energia specifica passante (intervento rapido), riducendo il fenomeno ad una corrente elevata di breve durata. Inoltre alcuni dispositivi sono in grado di limitare anche il valore della corrente (fusibili e interruttori limitatori), abbassando notevolmente il valore della corrente e ulteriormente il valore dell'energia specifica passante (figura 3).

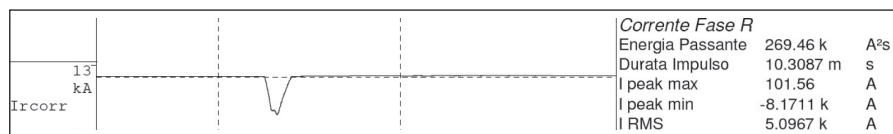



Figura 3 - Corrente di cortocircuito di 10 kA, interrotta da fusibile

Gli effetti del cortocircuito sono sostanzialmente due:

1) **termico**, legato al tempo di durata della corrente di cortocircuito stessa, che dà luogo a sovratemperature, invecchiamento degli isolamenti, incendi e riscaldamenti localizzati (danni ai contatti);
2) **elettrodinamico**, legato al valore massimo (valore di picco) della corrente di cortocircuito e che produce notevoli sforzi elettrodinamici sui conduttori e, in alcuni casi, sulla meccanica delle apparecchiature.

La sollecitazione termica dovuta alla corrente di cortocircuito è dovuta all'energia specifica passante, che se superiore a quella sopportabile dal cavo (proporzionale al quadrato della sezione), può incendiare l'isolante del cavo stesso.
Gli effetti elettrodinamici di una corrente di cortocircuito non interrotta, possono a volte essere di intensità tale da allontanare i contatti chiusi di un interruttore con la conseguenza di formare un arco elettrico di intensità crescente fino all'esplosione dell'apparecchiatura, con relativa proiezione di scintille e parti incandescenti (cortocircuito con sviluppo di arco elettrico).

Quando il guasto avviene con un contatto tra parti attive in cui la resistenza non è trascurabile, il cortocircuito è definito non franco e la corrente che si stabilisce non assume i valori elevati di un cortocircuito franco, ma è più simile alla corrente dovuta ad un sovraccarico.

<u>FOCUS</u>

SOVRACORRENTI NEI CAVI: L'EFFETTO DEL CORTOCIRCUITO

- **EFFETTO TERMICO: sovratemperature, invecchiamento degli isolamenti, incendi e riscaldamenti localizzati (danni ai contatti)**
- **EFFETTO ELETTRODINAMICO: produce notevoli sforzi elettrodinamici sui conduttori e, in alcuni casi, sulla meccanica delle apparecchiature** (può allontanare i contatti chiusi di un interruttore con la conseguenza di formare un arco elettrico di intensità crescente fino all'esplosione dell'apparecchiatura, con relativa proiezione di scintille e parti incandescenti)

Se il cortocircuito è NON FRANCO (resistenza non trascurabile)
la corrente che si stabilisce è più simile
alla corrente dovuta ad un sovraccarico (<< Icc)

4.1.2 Correnti di Guasto verso Terra

<u>Sistemi TT (alimentazione in BT al contatore da cabina del distributore)</u>

La corrente di guasto a terra è limitata dalla resistenza di terra sia delle masse, sia del neutro della cabina MT/BT dell'ente distributore, quindi non determina in genere l'intervento dell'interruttore automatico o dei fusibili posti a protezione dell'impianto.
Il rischio è quello di avere correnti di guasto a terra di valore inferiore alla corrente nominale delle protezioni contro le sovracorrenti, perciò correnti modeste che permangono nel circuito in quanto le protezioni non intervengono. Ad esempio, una corrente verso terra di 15A non è interrotta da un automatico da 16A, MA E' IN GRADO DI INNESCARE UN INCENDIO.
Per evitare il pericolo di innesco dell'incendio nella conduttura è necessario l'interruttore differenziale.

<u>Sistemi TN (alimentazione da cabina MT/BT propria)</u>

Un guasto franco a terra è un cortocircuito monofase a terra e intervengono le protezioni contro le sovracorrenti. Rimane il pericolo di un guasto NON FRANCO a terra che può essere "sentito" dall'interruttore differenziale.

Sistemi IT (sistema isolato da terra)

Un primo guasto a terra determina una corrente ohmico-capacitiva che aumenta con l'estensione dell'impianto.
Dato che i sistemi IT sono utilizzati dove la continuità di servizio è essenziale (esempio ospedali), non si interrompe l'alimentazione al primo guasto, ma si predispone la segnalazione del guasto per poterlo eliminare.

FOCUS

CORRENTI DI GUASTO VERSO TERRA

CORRENTI DI MODESTA ENTITA' NON INTERROTTE DALLE PROTEZIONI PER SOVRACCARICO E CORTOCIRCUITO (NON SUFFICIENTEMENTE SENSIBILI), PERMANENDO PER LUNGHI PERIODI, INNESCANO L'INCENDIO

4.1.3 Resistenza Localizzata: il Cattivo Contatto

Il cattivo contatto (morsetto non serrato bene) genera una RESISTENZA LOCALIZZATA.
Il conseguente aumento della resistenza implica l'aumento del calore per effetto Joule.
La maggior parte degli incendi che si sviluppano nei quadri sono spesso originati dall'allentamento di un morsetto.
I dispositivi di protezione per le sovracorrenti sono INEFFICACI nei confronti del cattivo contatto, il quale sviluppa calore con le correnti del servizio ordinario. Tale calore può innescare le sostanze combustibili poste in vicinanza: materie plastiche degli apparecchi elettrici nei quadri, oppure i materiali con cui sono costruiti i quadri stessi o gli involucri.

FOCUS

RESISTENZA LOCALIZZATA DOVUTA A CATTIVO CONTATTO:
- **MORSETTO NON SERRATO BENE (coppia di serraggio insufficiente)**
- **INSTALLAZIONE ERRATA DEL CAVO NEL MORSETTO (parte di isolante del cavo serrata nel morsetto)**

DISPOSITIVI DI PROTEZIONE PER LE SOVRACORRENTI SONO INEFFICACI
CAUSA DI INNESCO FREQUENTE NEI QUADRI ELETTRICI

4.1.4 Guasto nelle apparecchiature

Un guasto nelle apparecchiature elettriche può avere diverse origini, alcune delle quali si possono ricollegare ai fenomeni descritti nei precedenti paragrafi.

Per quanto riguarda le sovracorrenti, dovute a sovraccarico e cortocircuito nell'apparecchio, i dispositivi installati a monte del circuito dall'impiantista offrono una protezione occasionale, essendo dimensionati per proteggere il cavo. Questo tipo di protezione per l'apparecchio è in genere considerata dal costruttore che lo costruisce in conformità alla norma di prodotto.

Gli altri tipi di fenomeni che possono innescare l'incendio, si possono ricondurre o a difetti di isolamento che determinano una sovracorrente, oppure a errori nella scelta e/o installazione dell'apparecchiatura, in relazione alle sue caratteristiche elettriche, alle caratteristiche ambientali in cui sono installate ed alle caratteristiche dei materiali con cui sono costruiti, quali ad esempio:

- Grado di protezione IP non adatto al luogo d'installazione (es. perdita nell'isolamento provocato dalla penetrazione dell'acqua, o diminuzione delle distanze di isolamento per ingresso di polvere conduttrice)
- Interruttore con p.i. inadeguato alla corrente di cortocircuito presunta nel punto d'installazione (formazione arco elettrico con fenomeno esplosivo, effetti elettrodinamici, proiezione di scintille e parti incandescenti)
- Dimensionamento errato dei condensatori in presenza di armoniche
- Materiale plastico non idoneo all'aggressività dell'ambiente con conseguente perdita di isolamento provocato dal cedimento del materiale.
- Ecc.

FOCUS

GUASTO NELLE APPARECCHIATURE

IL COSTRUTTORE VALUTA IL RISCHIO DI INNESCO E PROPAGAZIONE DELL'APPARECCHIATURA IN FUNZIONE DEI MATERIALI CHE UTILIZZA.

L'INNESCO DELL'INCENDIO E' DA IMPUTARE AD UNA ERRATA SCELTA DELL'APPARECCHIATURA RISPETTO AL LUOGO DI INSTALLAZIONE, IN RELAZIONE A:

- **Materiale dell'apparecchiatura (comportamento al fuoco, autoestinguenza, sollecitazione ambientale)**
- **Grado di protezione IP idoneo alle sollecitazioni ambientali**
- **Dimensionamento (parametri elettrici nominali non idonei all'installazione)**

4.2 L'Arco Elettrico

Quando due parti conduttrici, separate da un mezzo isolante (ad esempio aria) da una certa distanza, sono sottoposte a tensione il cui valore è tale da vincere la rigidità dielettrica dell'aria, il mezzo diventa conduttore e si stabilisce un arco elettrico.

La resistenza dell'aria (ionizzata) diminuisce all'aumentare della temperatura e la tensione di mantenimento dell'arco diminuisce, anche all'aumentare della corrente.
L'energia d'arco è pari a

$$\int_0^t v_a \cdot i \, dt$$

dove v_a è la tensione d'arco, è la corrente d'arco e t la durata dell'arco.

Gli effetti termici dell'arco dipendono dal calore sviluppato, che è proporzionale all'energia d'arco.
Dato che l'energia d'arco da luogo a potenze elevatissime (2-2,5 MW per tensione d'arco di 80-100V in BT, con correnti di 25 kA), il fenomeno assume caratteri esplosivi, con sviluppo di calore a temperature di 6000-12000 °C e proiezione di particelle incandescenti che possono incendiare materiali combustibili.

L'arco è inoltre soggetto alle azioni elettrodinamiche della corrente, che mettono in movimento l'arco allontanandolo dalla sorgente che l'ha generato con velocità di centinaia di km/h, diventando di fatto una sorgente di innesco in movimento all'interno di un quadro o nel circuito.

L'arco elettrico può essere innescato da:

- Sovratensioni (atmosferiche e di manovra);
- Filo che fonde (si ionizza l'aria e si crea un percorso conduttore);
- Inquinamento superficiale e cedimento dell'isolante (tracking);
- Arco funzionale (fusibili, interruttori)
- Cortocircuito con formazione di arco.

La formazione dell'arco in presenza di correnti di cortocircuito superiori a 20kA, genera energie tali che il calore che si sviluppa carbonizza gli isolanti e fonde i metalli.
In tal caso l'involucro non resiste e si ha il fenomeno esplosivo con proiezione di parti incandescenti.
È il caso della formazione di arco elettrico nel quadro di potenza con correnti di cor-

tocircuito elevate (>20 kA), che deve essere costruito per resistere alle sollecitazioni dell'arco e in modo tale da sfogare i prodotti dell'arco in luogo sicuro (quadri a prova di arco interno).

I dispositivi di protezione contro le sovracorrenti non sono in genere efficaci contro l'arco elettrico. Anche se il loro intervento può limitare la corrente e la durata dell'arco, quando i dispositivi sono limitatori di corrente (fusibili o interruttori limitatori), non possono impedire tuttavia la formazione e lo sviluppo dell'arco.

Un'altra caratteristica dell'arco elettrico che lo rende "invisibile" alle protezioni contro le sovracorrenti (interruttori, fusibili) è che la sua presenza modifica la situazione del circuito. Infatti la tensione che si stabilisce ai capi dell'arco (tensione d'arco) limita la corrente di cortocircuito.
La tensione d'arco genera infatti una corrente d'arco con verso opposto a quello della corrente che circola nel circuito, con l'effetto di abbassare la corrente di cortocircuito a valori che non fanno intervenire le protezioni contro il cortocircuito a monte, dimensionate per la corrente di cortocircuito presunta (cortocircuito franco).
È il caso caratteristico di un arco formato in seguito ad un cortocircuito non franco.

In genere correnti di cortocircuito fino a 4-5 kA non sviluppano un arco elettrico in grado di innescare materiali plastici. Per correnti di cortocircuito così modeste e se il circuito è prevalentemente resistivo (come negli edifici civili), l'arco elettrico è un fenomeno instabile e tende a spegnersi. Tuttavia limita la corrente di cortocircuito a valori che potrebbero non fare intervenire le protezioni elettriche contro le sovracorrenti.

Per correnti di cortocircuito superiori, fino al limite in cui si ha sviluppo di energie d'arco che determinano il fenomeno esplosivo descritto sopra, si può avere l'innesco dei materiali isolanti.
È il caso degli ambienti industriali oppure negli edifici alimentati da propria cabina MT/BT (sistemi TN), in cui le correnti di cortocircuito sono più elevate e i circuiti sono più induttivi, soprattutto in prossimità del trasformatore. Infatti in un circuito induttivo l'arco diventa molto più stabile e si reinnesca facilmente ad ogni passaggio per lo zero della corrente alternata.

<u>FOCUS</u>

ARCO ELETTRICO

- **ENERGIE ELEVATISSIME => EFFETTI TERMICI E PROIEZIONE DI PARTICELLE INCANDESCENTI**
- **L'ARCO ELETTRICO SI MUOVE (si allontana dalla sorgente) => PUO' INNESCARE A DISTANZA**
- **PROTEZIONI CONTRO LE SOVRACORRENTI INEFFICACI (INTERRUTTORI, FUSIBILI)**
- **PIU' PERICOLOSO NEGLI AMBIENTI INDUSTRIALI E NEGLI EDIFICI CON CABINA MT/BT PROPRIA (aumenta la sua pericolosità ed i suoi effetti all'aumentare della corrente di cortocircuito)**

L'ARCO ELETTTRICO PUO':

- **innescare direttamente il materiale combustibile delle apparecchiature e/o nelle vicinanze dell'arco stesso, con sviluppo dell'incendio**
- **limitare la corrente di cortocircuito e rendere inefficace l'intervento delle protezioni**
- **danneggiare le persone che si trovano nelle vicinanze**

L'ARCO ELETTRICO PUO' ESSERE INNESCATO DA:

- Sovratensioni (atmosferiche e di manovra);
- Filo che fonde (si ionizza l'aria e si crea un percorso conduttore);
- Inquinamento superficiale e cedimento dell'isolante (tracking);
- Arco funzionale (fusibili, interruttori)
- Cortocircuito con formazione di arco (non franco)
- ERRORE UMANO NELLE OPERAZIONI DI LAVORI ELETTRICI SOTTO TENSIONE

4.2.1 Inquinamento superficiale (tracking)

Ogni ambiente è soggetto a inquinamento (particelle, pulviscolo, ecc.).
Gli ambienti di lavoro lo sono maggiormente, in quanto vi sono, disperse in aria sottoforma di particelle solide o vapori, sostanze di natura diversa legate al processo produttivo. Ad esempio in un'attività produttiva che presenta lavorazioni meccaniche per asportazione di truciolo, l'inquinamento è presente sottoforma di pulviscolo di materiale metallico e vapori dispersi in aria di soluzione refrigerante per l'utensile (spesso olio). Queste sostanze si depositano a lungo andare sulle pareti delle apparecchiature elettriche.

L'inquinamento, in aggiunta all'umidità presente nell'atmosfera, favorisce la formazione di un percorso conduttore sulla superficie dell'isolante dell'apparecchiatura.
Si stabilisce una piccola corrente che altera le proprietà isolanti del materiale, fino al cedimento ed alla formazione di un arco elettrico. **Questo fenomeno è conosciuto come "tracking" (traccia).**

Il tracking è un fenomeno che coinvolge le materie plastiche utilizzate come isolanti nella costruzione degli apparecchi elettrici (interruttori, spine, prese, ecc.), pertanto le norme di prodotto prevedono una prova specifica per la determinazione di indici di che caratterizzano la capacità del materiale di mantenere le proprie caratteristiche in conseguenza alla traccia.
Gli indici di resistenza e tenuta alla traccia (CTI e PTI) dell'isolante, sono utilizzati per la valutazione delle distanze in aria e superficiali di isolamento nella progettazione delle apparecchiature.
Per ridurre il tracking, il costruttore dell'apparecchio sceglie e valuta il materiale isolante in funzione della resistenza del materiale alla traccia e aumenta le distanze superficiali progettando una idonea conformazione della superficie tra le parti a diverso potenziale, secondo quanto previsto dalle norme di prodotto.

In termini di analisi del rischio, pare ragionevole considerare anche l'effetto dell'invecchiamento sulle caratteristiche dei materiali plastici.
In conseguenza al calore sviluppato nel normale funzionamento, umidità e al naturale invecchiamento negli anni, le proprietà dell'isolante possono modificarsi. L'esperienza di invecchiamenti realizzati artificialmente in laboratorio dimostra la perdita delle proprietà, pertanto non si può escludere il verificarsi del fenomeno del tracking.

<u>FOCUS</u>

ARCO ELETTRICO
<u>TRACKING</u>

Gli ambienti di lavoro sono soggetti a INQUINAMENTO AMBIENTALE, in quanto vi sono, disperse in aria sottoforma di particelle solide o liquide, sostanze di natura diversa legate al processo produttivo: POLVERI CONDUTTRICI E NON, GOCCIOLINE AERODISPERSE DI LIQUIDI, ecc.

TRACKING: FORMAZIONE DI ARCO ELETTRICO DOVUTA ALL'INQUINAMENTO, IN AGGIUNTA ALL'UMIDITÀ PRESENTE NELL'ATMOSFERA, CHE FAVORISCE LA FORMAZIONE DI UN PERCORSO CONDUTTORE SULLA SUPERFICIE DELL'ISOLANTE DELL'APPARECCHIATURA

L'ARCO ELETTRICO PER FENOMENO DI TRACKING PUO' INNESCARE L'INCENDIO IN QUANTO E' UN FENOMENO NON CONTROLLATO DALLE PROTEZIONI PER SOVRACORRENTE

la resistenza alla traccia (CTI e PTI) e' caratteristica di ogni materiale isolante (plastico) e deve essere valutato dal costruttore dell'apparecchiatura attraverso prove specifiche

l'invecchiamento della materia plastica può modificarne le proprietà, tra cui la resistenza alla traccia

4.3 Innesco elettrico all'interfaccia tra impianto e apparecchio utilizzatore: LE PRESE A SPINA

Le prese a spina sono di fatto un punto di prelievo dell'energia.
In ogni impianto, che sia in ambiente industriale o terziario, sono presenti utilizzatori che non sono alimentati direttamente, ma sono dotati di cavo di alimentazione con spina industriale per la connessione ad un quadro prese ad installazione fissa.

I rischi di innesco dovuti all'inserimento/disinserimento della spina oppure al tipo e funzionamento dell'apparecchiatura ricadono tra le tipologie descritte in precedenza.
Il box che segue analizza i rischi di accensione relativi alle prese a spina.

FOCUS

RISCHIO DI ACCENSIONE NELLE PRESE A SPINA

a) **Quando si inserisce o disinserisce una spina, oppure durante le eventuali operazioni di manutenzione, si è sottoposti al rischio di contatto diretto. Se la presa fissa costituisce una massa, c'è anche il rischio di contatto indiretto => SCINTILLA**

b) **La presa a spina ad uso industriale ha una geometria tale per cui l'arco elettrico tra spinotto e alveolo, si sviluppa entro una camera chiusa e può provocare l'emissione all'esterno di gas, fumi e particelle incandescenti. L'effetto può diventare dannoso per l'operatore in condizioni di cortocircuito dell'utilizzatore a valle => PROIEZIONE DI GAS CALDI E PARTICELLE INCANDESCENTI**
Esperimenti di laboratorio condotti su prese e spine da 16 A, hanno dimostrato che, quando la corrente presunta di cortocircuito è superiore a 4-5kA, le manifestazioni d'arco possono diventare pericolose (espulsione violenta dei gas con fenomeno esplosivo)

c) **Quando si inserisce o disinserisce la spina, l'eventuale presenza di particelle solide, tipo polvere, può influire sul percorso conduttore dell'arco, attraverso il dielettrico aria, tra spinotto e alveolo. L'effetto può essere pericoloso se la polvere ha una resistività tale da poter essere considerata conduttrice, ampliando così lo sviluppo dell'arco elettrico e l'energia d'arco. Lo stesso fenomeno può accadere all'interno della camera di accoppiamento spinotto-alveolo in caso di presenza di acqua => PRESENZA DI POLVERE O ACQUA PUO' FAVORIRE LO SVILUPPO DELL'ARCO ELETTRICO**

d) **SOLLECITAZIONI AMBIENTALI POSSONO FAVORIRE IL MANIFESTARSI DI SORGENTI DI INNESCO:**

   i. **URTI => ROTTURA DELLA CUSTODIA E FURIUSCITA DELL'ARCO ELETTRICO**

   ii. **URTI => ROTTURA DELLA CUSTODIA E CONTATTO CON PARTI CALDE**

   iii. **TEMPERATURA AMBIENTALE DIVERSA DA QUELLA DICHIARATA IDONEA DAL COSTRUTTORE => TEMPERATURE SUPERFICIALI MAGGIORI DI QUELLE ATTESE**

   iv. **AGGRESSIONE CHIMICA => CEDIMENTO DEL MATERIALE DELLA CUSTODIA**
   => PARTI NUDE IN TENSIONE => FUORI USCITA DELL'ARCO ELETTRICO

5 PROVVEDIMENTI CONTRO L'INNESCO ELETTRICO

Di seguito si analizzano in forma descrittiva i provvedimenti di buona tecnica contro le cause elettriche di innesco esaminate al precedente paragrafo. In conclusione al presente paragrafo proponiamo una tabella riassuntiva con le cause di innesco, esempi di situazioni impiantistiche che le possono favorire e i provvedimenti necessari.

5.1 Protezione contro l'incendio da Sovracorrenti

Gli effetti termici di sovraccarico e cortocircuito sono cause di innesco se non vengono interrotte in tempo utile a non danneggiare l'isolamento del cavo.
La norma impianti (Norma CEI 64-8) impone la protezione delle condutture contro il sovraccarico ed il cortocircuito, mediante l'installazione di dispositivi (interruttori automatici, fusibili, ecc.) che interrompano la sovracorrente.
La norma assicura che l'effetto termico dovuto a sovracorrenti per sovraccarico e cortocircuito franco non inneschi l'isolante del cavo. In genere una forte corrente dovuta a cortocircuito è prontamente interrotta dalle protezioni, se queste sono adeguatamente predisposte e dimensionate secondo la norma, limitandone l'energia sviluppata nel breve tempo impiegato dal dispositivo ad intervenire.

Possiamo, tuttavia, individuare alcune situazioni in cui la protezione del cavo non sempre garantisce la protezione degli altri componenti dall'innesco di un incendio:

1) **Correnti di piccola entità che permangono a lungo senza essere interrotte dai dispositivi di protezione:**

   a) Nei locali ordinari la norma consente che le protezioni contro il sovraccarico siano installate in un punto qualsiasi della conduttura, essendo la corrente di sovraccarico costante in tutto il circuito (corrente non di guasto). Quando vi è pericolo di incendio è necessario interrompere anche correnti di modesta entità, che perdurano nel tempo. È il caso di un **cortocircuito non franco** poiché, generando correnti basse, se le protezioni non intervengono istantaneamente (o in tempi utili) il perdurare di tali correnti può essere causa d'innesco dell'incendio. In conclusione, negli impianti a rischio di incendio, oltre al cortocircuito franco si devono predisporre dispositivi di protezione contro il cortocircuito non franco. La soluzione impiantistica è utilizzare i dispositivi di protezione contro il sovraccarico, opportunamente dimensionati, posizionandoli all'inizio del circuito.

b) Una situazione di pericolo analoga si verifica quando **il cortocircuito si stabilisce in fondo alla linea**. Spesso questo tipo di guasto avviene al punto di prelievo dell'energia (ad esempio prese a spina) alla fine della linea, il cui circuito, a causa dell'estensione dell'impianto, ha una elevata impedenza e sviluppa correnti di cortocircuito di modesta entità. Anche in questo caso la soluzione impiantistica è quella di utilizzare i dispositivi di protezione contro il sovraccarico, opportunamente dimensionati considerando il calcolo della corrente di cortocircuito nel punto più lontano, posizionandoli all'inizio del circuito.

2) Presenza di armoniche nell'impianto:

a) effetti sul conduttore di neutro, ad es. le correnti di terza armonica sulle 3 fasi sono in concordanza di fase tra loro e si sommano aritmeticamente sul neutro. Ne consegue che il sistema è squilibrato e si ha una corrente non più trascurabile sul neutro. Se la distorsione armonica (ampiezza) supera il 33% LA CORRENTE SUL NEUTRO E' MAGGIORE DI QUELLA SULLE FASI: si deve dimensionare opportunamente il neutro (nei casi più critici il dimensionamento delle fasi è conseguente a quello del neutro) e si deve proteggere il neutro contro le sovracorrenti anche se di sezione uguale a quella dei conduttori di fase.

b) effetti sui condensatori: le armoniche aumentano la resistenza e le perdite nei condensatori, inducono fenomeni di risonanza che causano il **cedimento del condensatore per SOVRATENSIONE (esplosione del condensatore come causa prima d'incendio)**. In presenza di armoniche è necessario sovradimensionare i condensatori in tensione e potenza, meglio se scelti idonei a sopportare la percentuale di distorsione armonica presente nell'impianto.

In ogni caso è consigliabile, in presenza o meno di armoniche, non installare condensatori all'interno di quadri elettrici di distribuzione nei quali vi sono installati altri componenti elettrici. Soluzione idonea è prevedere un quadro o contenitore dedicato, con caratteristiche tali da offrire l'impedimento alla propagazione dell'incendio (scelta del materiale) e la schermatura verso gli altri componenti dell'impianto elettrico (grado di protezione IP idoneo).

3) Posa di cavi in parallelo: sono particolarmente insidiosi perché, se non disposti correttamente, possono generare sovracorrenti che le normali protezioni previste per le condutture potrebbero non interrompere.

a) Sovraccarico: si hanno fenomeni di *mutua induttanza* tra le fasi (spire percorse da corrente) e la corrente non si ripartisce in modo equilibrato

tra cavi uguali (sovraccarico). Per ridurre la mutua induttanza bisogna disporre i cavi in modo opportuno (simmetria). Inoltre un unico dispositivo di protezione contro il sovraccarico, a monte dei cavi in parallelo, potrebbe non evitare il sovraccarico in alcuni di essi. Questo e’ idoneo solo se la corrente si ripartisce in parti uguali, quindi solo se i cavi sono di uguale sezione. Se i cavi in parallelo sono di sezione diversa, ognuno deve avere la propria protezione.

b) **Cortocircuito**: la protezione contro il cortocircuito necessita di particolare attenzione, perché il cortocircuito in caso di *n* cavi in parallelo viene alimentato a monte dal cavo guasto e a valle tramite gli altri *n-1* cavi, con il risultato di avere correnti di cortocircuito più alte di quelle che ci si attenderebbe con un solo cavo.

Conclusioni: Anche se le condutture sono protette correttamente contro sovraccarico e cortocircuito, secondo le regole generali, si può avere innesco dell’incendio in conseguenza a fenomeni di sovracorrente che, in luoghi a rischio di incendio, assumono importanza fondamentale.
Inoltre, anche se la conduttura è protetta correttamente, se si stabilisce un cortocircuito con sviluppo di arco elettrico si può verificare l’innesco dell’incendio nei componenti dell’impianto e nei cavi.

FOCUS

PROTEZIONE CONTRO L'INCENDIO DA SOVRACORRENTI

- **SOVRACCARICO => dimensionamento protezioni dei cavi (interruttori) scegliendo idonea corrente nominale rispetto alla corrente del circuito e della portata del cavo (regola $I_B \leq I_N \leq I_Z$ CEI 64-8)**
- **CORTOCIRCUITO FRANCO => dimensionamento protezioni dei cavi (interruttori, fusibili):**
  - **scegliendo idoneo POTERE DI INTERRUZIONE in funzione della Icc presunta**
  - **verificando che l'energia specifica passante all'intervento della protezione sia sopportata dal cavo (regola $I^2 t \leq K^2 S^2$ CEI 64-8)**

SITUAZIONI IN CUI LE PROTEZIONI STANDARD CONTRO SOVRACCARICO E CORTOCIRCUITO FRANCO POSSONO ESSERE INEFFICACI

- **Correnti di piccola entità che permangono a lungo senza essere interrotte dai dispositivi di protezione:**
  - **CORTOCIRCUITO NON FRANCO e CORTOCIRCUITO IN FONDO ALLA LINEA => corrente inferiore a Icc presunta**

  => dispositivo di protezione contro il sovraccarico dimensionato anche per tali valori di corrente e installato <u>all'inizio del circuito</u>

- **Presenza di armoniche nell'impianto:**
  - **EFFETTI TERMICI SUL CONDUTTORE DI NEUTRO => sovradimensionamento sezione conduttore di neutro e protezioni contro sovracorrenti anche per il neutro**
  - **ESPLOSIONE CONDENSATORI => sovradimensionamento in tensione e potenza**
    <u>Regola pratica:</u>
    - **NON INSTALLARE I CONDENSATORI DI RIFASAMENTO DENTRO I QUADRI ELETTRICI**
    - **INSTALLARLI IN QUADRETTI/CUSTODIE DEDICATI**
    - **SCELTA DEL MATERIALE IDONEO PER QUADRETTI/CUSTODIE TALE DA NON PROPAGARE L'INCENDIO (METALLICI O MATERIALE ISOLANTE CON ELEVATE PROPRIETA' DI AUTOESTINGUENZA)**
    - **SCELTA DELL'IDONEO GRADO DI PROTEZIONE (IP) PER QUADRETTI/CUSTODIE TALE DA COSTITUIRE UNA SCHERMATURA VERSO ALTRI MATERIALI COMBUSTIBILI**
    - **SCELTA DI IDONEE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL MATERIALE DEI QUADRETTI/CUSTODIE PER SOPPORTARE L'EVENTUALE PROIEZIONE DI PARTI INCANDESCENTI (URTO E SPESSORE)**

- **Posa dei cavi in parallelo**
  - **MUTUA INDUTTANZA => SOVRACCARICO => posa con idonea simmetria e unica protezione a monte contro il sovraccarico solo se cavi di uguale sezione**
  - **CORTOCIRCUITO => correnti di cortocircuito maggiori della Icc presunta => dimensionamento opportuno delle protezioni**

5.2 Protezione contro l'incendio da Correnti di Guasto verso Terra

Le correnti di guasto verso terra costituiscono una sorgente di innesco dell'incendio eliminabile con interruttori differenziali, sia nei sistemi TT che TN: la norma CEI 64-8 impone per la prevenzione incendi una corrente di intervento differenziale $I_{dn} \leq 0{,}3$ A, anche a intervento ritardato, sia sui circuiti di distribuzione che terminali.

<u>Eccezioni</u>:

- i circuiti di distribuzione, per i quali per continuità di servizio è ammesso $I_{dn} \leq 1$ A ritardato;
- condutture tali da non poter innescare un incendio (condutture incassate in pareti non combustibili; condutture realizzate con cavi in tubi, canali o condotti con IP ≥ IP4X; cavi schermati o ad isolamento minerale); impianti di sicurezza.

Nei sistemi IT si deve prevedere la segnalazione di primo guasto a terra con soglia intervento ≤ 0,3 A.

FOCUS

PROTEZIONE DALL'INCENDIO DA CORRENTI DI GUASTO VERSO TERRA

- **SISTEMI TT (alimentazione in BT al contatore da cabina del distributore)**
  => interruttore differenziale Id ≤ 0,3 A (anche ritardato)
  Sui circuiti di distribuzione e terminali (prese a spina)

- **SISTEMI TN (alimentazione da cabina MT/BT propria)**
  => interruttore differenziale Id ≤ 0,3 A (anche ritardato)
  Sui circuiti di distribuzione e terminali (prese a spina)
  Sui circuiti di distribuzione si può installare con Id ≤ 1 A ritardato (per continuità di servizio)

ECCEZIONI: condutture tali da non poter innescare un incendio (condutture incassate in pareti non combustibili; condutture realizzate con cavi in tubi, canali o condotti con IP ≥ IP4X; cavi schermati o ad isolamento minerale); impianti di sicurezza

- **SISTEMI IT (sistema isolato da terra)**
  => non si interrompe l'alimentazione al primo guasto, ma si predispone la segnalazione del guasto per poterlo eliminare, con soglia intervento ≤ 0,3 A

SI RICORDA CHE LA PROTEZIONE CONTRO I GUASTI VERSO TERRA (CONTATTO INDIRETTO) E' SOGGETTA ALLE VERIFICE PERIODICHE DEL COORDINAMENTO TRA IMPIANTO DI MESSA A TERRA E PROTEZIONI
(OBBLIGO DEL DATORE DI LAVORO SECONDO IL DPR 462/01)
NEI LUOGHI A RISCHIO DI INCENDIO LA PERIODICITA' E' 2 ANNI

5.3 Protezione contro l'incendio da Resistenza Localizzata (Cattivo Contatto)

le uniche protezioni contro il cattivo contatto sono:

1) **La corretta installazione e la manutenzione periodica preventiva**. Particolare importanza assume quindi la pianificazione degli interventi di manutenzione degli impianti elettrici, che deve essere definita a seconda delle caratteristiche dell'impianto mediante il *piano di manutenzione*. È bene che questi preveda anche un esame termografico di tutti gli involucri, quadri elettrici, apparecchiature all'interno dei quali vi sono conduttori connessi mediante morsetti.

La manutenzione preventiva non rappresenta solo un'azione preventiva di buona tecnica, ma è prescritta anche dai regolamenti legislativi in materia di sicurezza.
A tale proposito si cita: Legge 216/95 "Legge quadro in materia di lavori pubblici" (legge Merloni) e relativo regolamento di attuazione; DPR 12 gennaio 1998 n.3 " Regolamento recante disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione incendi, a norma dell'articolo 20, comma 8, della legge 15 marzo 1997, n.59"; DLgs 9 aprile 2008 n.81 "Attuazione dell'art.1 della legge 3 agosto 2007, n.123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro"; DLgs 22 gennaio 2008 , n.37 "Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11 quaterdiecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante il riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici", che ha sostituito la legge 46/90;

2) **La corretta scelta del materiale con cui sono realizzate le apparecchiature**. I componenti interni ai quadri o involucri, sono realizzati con materiali isolanti plastici (termoplastici o termoindurenti): interruttori, morsettiere, ecc.. È quindi di fondamentale importanza che le materie plastiche abbiano elevate caratteristiche di autoestinguenza secondo la classificazione della norma UL94 e/o secondo il glow wire test. ***L'esperienza insegna che spesso la manutenzione relativa alle apparecchiature interne ai quadri, vengono eseguite quasi esclusivamente in occasione di guasti funzionali alle apparecchiature stesse. L'attenzione è raramente rivolta alla prevenzione contro il cattivo contatto.*** Per questo motivo, anche se le norme impianti prescrivono un minimo valore di glow wire (550°C per componenti applicati a parete, ad esempio scatole di derivazione, e 850°C per le parti dei componenti che tengono in posizione parti sotto tensione), è opportuna la scelta di componenti il cui materiale isolante sia classificato resistente ai massimi valori di temperatura del glow wire (850-960°C), oppure secondo le più elevate classi di autoestinguenza (V-0, V-1). Il concetto può essere ragionevolmente esteso all'involucro che contiene le apparecchiature.

FOCUS

PROTEZIONE DALL'INCENDIO DA CATTIVO CONTATTO

LE PROTEZIONI CONTRO SOVRACORRENTI E GUASTI A TERRA SONO INEFFICACI CONTRO GLI EFFETTI DEL CATTIVO CONTATTO

LE UNICHE PROTEZIONI CONTRO IL CATTIVO CONTATTO SONO

- **CORRETTA INSTALLAZIONE => particolare cura nella connessione dei cavi nei morsetti:**
    - Spelatura del cavo a misura per assicurare il serraggio nel morsetto solo del conduttore, ma senza far fuoriuscire parti nude in tensione
    - Serraggio della vite del morsetto con coppia nominale prevista dal costruttore
    - Inserzione secondo istruzioni del costruttore, in termini di numero di conduttori collegabili per ogni morsetto e sezione dei conduttori

- **MANUTENZIONE PERIODICA PREVENTIVA =>** definita a seconda delle caratteristiche dell'impianto mediante il ***piano di manutenzione***. È bene che questi preveda anche un esame termografico di tutti gli involucri, quadri elettrici, apparecchiature all'interno dei quali vi sono conduttori connessi mediante morsetti

IL MANTENIMENTO IN EFFICIENZA DELL'IMPIANTO AI FINI DELLA SICUREZZA
È UN OBBLIGO DI LEGGE DEL DATORE DI LAVORO

- **CORRETTA SCELTA DEL MATERIALE CON CUI SONO REALIZZATE LE APPARECCHIATURE**
  => è opportuna la scelta di componenti elettrici interni ai quadri/cassette di derivazione/custodie il cui materiale isolante sia classificato resistente ai massimi valori di temperatura del glow wire (850-960°C), oppure secondo le più elevate classi di autoestinguenza (V-0, V-1).

  Il concetto può essere ragionevolmente esteso all'involucro che contiene le apparecchiature, se realizzato in materiale isolante.

  SI RICORDA CHE MATERIALI ISOLANTI CERAMICI NON SONO COMBUSTIBILI (morsetti) PERCIO' IDONEI

  INVOLUCRI METALLICI (NON COMBUSTIBILI) FUNGONO DA BARRIERA DI CONTENIMENTO IN CASO DI ACCENSIONE DEL COMPONENTE INTERNO E IMPEDISCONO LA PROPAGAZIONE AD ALTRI MATERIALI COMBUSTIBILI

5.4 Protezione contro l'incendio da Arco Elettrico

I dispositivi di protezione contro le sovracorrenti non sono in genere efficaci contro l'arco elettrico. Anche se il loro intervento può limitare la corrente e la durata dell'arco, quando i dispositivi sono limitatori di corrente (fusibili o interruttori limitatori), non possono impedire tuttavia la formazione e lo sviluppo dell'arco.

Quando le correnti di cortocircuito (e la corrente d'arco che si sviluppa) sono di minore intensità, l'involucro di un apparecchio è l'unica protezione per impedire all'arco di innescare le sostanze combustibili presenti nel luogo.

Per evitare che un arco elettrico possa innescare sostanze combustibili vicine non c'è altro modo che schermare le parti dell'impianto elettrico nei confronti dell'ambiente circostante.

A tal fine è necessario **un grado di protezione idoneo ai rischi ambientali** di penetrazione di corpi solidi e/o acqua all'interno della custodia dell'apparecchiatura:

- Almeno non inferiore a IP4X.
- Se l'arco è originato da fenomeno di Tracking, il grado di protezione deve essere idoneo all'ambiente ricordando che in presenza di polvere il grado IP6X garantisce protezione completa.
- In caso di pericolo di penetrazione di acqua il grado IPX6 protegge dall'ingresso di acqua in caso di forti getti.

È di fondamentale importanza anche la scelta del materiale degli involucri che devono costituire la barriera verso l'esterno: nel caso in cui siano di materiale plastico è fondamentale la verifica dei risultati delle prove di infiammabilità (glow wire test) e della resistenza alla traccia, necessaria ad evitare il fenomeno del tracking. Quando il rischio di incendio è elevato, l'uso di custodie metalliche protegge dal rischio che l'arco elettrico inneschi l'involucro stesso ed il materiale circostante.

FOCUS

PROTEZIONE DALL'INCENDIO PER SVILUPPO DI ARCO ELETTRICO

CAUSA DELL'ARCO ELETRICO	PROTEZIONE	ALTRE AZIONI NECESSARIE
Sovratensione Atmosferica	• Analisi del rischio di fulminazione • Progetto sistema di SPD (scaricatori) • Progetto impianto di protezione scariche atmosferiche • Grado di protezione idoneo (almeno IP4X) • Resistenza meccanica dei materiali	• Progetti redatti da professionista • Manutenzione del sistema • Verifiche DPR 462/01 per l'impianto di protezione scariche atmosferiche ogni 2 anni
Sovratensione di manovra da errore umano durante lavori elettrici	• Interblocchi elettrici per evitare manovre errate • Preparazione professionale installatore/manutentore	• Accuratezza nell'installazione • Formazione personale

Tracking	• Grado di protezione idoneo (almeno IP4X)
	• Verifica sollecitazioni ambientali per presenza di polveri (IP6X)
	• Verifica sollecitazioni ambientali per presenza di acqua (IPX5 oppure X6)
	• Scelta materiale delle custodie:
	  • **Isolante plastico: idoneo CTI, resistenza agli urti, autoestinguenza di grado elevato (V-0, V-1 oppure glow wire ≥ 850°C)**
	  • **Metallico (soddisfacente)**
		• Progettazione: analisi delle condizioni ambientali (presenza rischi di ingresso corpi solidi e acqua) per un idoneo grado di protezione
		• Ad esempio quando nell'ambiente a rischio di incendio è previsto un impianto automatico estinzione incendi, è necessario prevedere un idoneo grado di protezione contro l'ingresso di acqua
		• La protezione dipende dal grado di protezione IP garantito nel tempo: necessaria la manutenzione preventiva (integrità custodia e stato guarnizioni)

Cortocircuito con formazione di arco (cortocircuito non franco)	• Grado di protezione idoneo (almeno IP4X)
	• Scelta materiale delle custodie:
	  • **Isolante plastico: idoneo CTI, resistenza agli urti, autoestinguenza di grado elevato (V-0, V-1 oppure glow wire ≥ 850°C)**
	  • **Metallico (soddisfacente)**
	• Protezione contro il sovraccarico anche per le linee non soggette a sovraccarico
		• Progettazione: dimensionamento delle protezioni contro le sovracorrenti che tengano conto del fatto che la tensione d'arco abbassa la corrente di cortocircuito presunta
		• La protezione dipende dal grado di protezione IP garantito nel tempo: necessaria la manutenzione preventiva (integrità custodia e stato guarnizioni)

5.5 Protezione l'innesco dell'incendio all'interfaccia tra impianto elettrico e utilizzatore: Prese a Spina

FOCUS

PROTEZIONE DALL'INNESCO DELL'INCENDIO AL PUNTO DI PRELIEVO: PRESE A SPINA

CAUSA DELL'INNESCO	PROTEZIONE	ALTRE AZIONI NECESSARIE
Scintilla da contatto diretto/ indiretto durante l'inserzione/ disinserzione	• consigliabile effettuare l'inserzione e la disinserzione della spina nella presa, in assenza di tensione • può essere assicurata mediante un interruttore con dispositivo di interblocco, installato immediatamente a monte della presa: **prese a spina interbloccate con interruttore a monte (prese con interruttore di blocco)**	
Emissione all'esterno di gas, fumi e particelle incandescenti durante l'inserzione/ disinserzione in condizioni di cortocircuito dell'utilizzatore a valle (Icc > 4 kA)	• consigliabile effettuare l'inserzione e la disinserzione della spina nella presa, in assenza di tensione • può essere assicurata mediante un interruttore con dispositivo di interblocco, installato immediatamente a monte della presa: **prese a spina interbloccate con interruttore a monte (prese con interruttore di blocco)**	• Progettazione: scelta delle caratteristiche della presa in funzione del calcolo delle correnti di cortocircuito (dipende dalla lunghezza del circuito e dalla distanza dalla cabinaMT/BT)

Sollecitazioni ambientali che possono provocare:
• **fuoriuscita scintille o arco elettrico dall'apparecchiatura**
• **ingresso di corpi solidi o acqua**
• **inficiare la protezione della custodia (barriera)**
	• Grado di protezione idoneo (almeno IP4X)
	• Verifica sollecitazioni ambientali per presenza di polveri (IP6X)
	• Verifica sollecitazioni ambientali per presenza di acqua (IPX5 oppure X6)
	• Scelta materiale delle custodie:
	  • **Isolante plastico: idoneo CTI, resistenza agli urti, autoestinguenza di grado elevato (V-0, V-1 oppure glow wire ≥ 850°C)**
	  • **Metallico (soddisfacente)**
		• Progettazione: analisi delle condizioni ambientali (presenza rischi di ingresso corpi solidi e liquidi) per un idoneo grado di protezione
		• Progettazione: analisi dei rischi meccanici nell'ambiente di installazione
		• La protezione dipende dal grado di protezione IP garantito nel tempo: necessaria la manutenzione preventiva (integrità custodia e stato guarnizioni)

5.6 Esempi di situazioni impiantistiche

Di seguito alcuni esempi di situazioni pratiche di inneschi elettrici che possono verificarsi negli impianti. Per la descrizione in dettaglio dei provvedimenti adottabili, si rimanda ai paragrafi precedenti dedicati.

Componente dell'impianto	**Situazione impianto**	**Conseguenza**	**Tipo innesco**	**Provvedimenti**	**Altre azioni necessarie**
▪ Cavi e Conduttori isolati ▪ Componenti elettromeccanici (avvolgimenti di motori, trasformatori, relè)	Passaggio di corrente	▪ Sovraccarico ▪ Guasto di c.c.	sovracorrente	Protezioni contro sovraccarico e c.c.	-
Cavi e Conduttori isolati	Es. elettricista mette in contatto due fasi	Guasto c.c. non franco	▪ Sovracorrente ▪ Arco Elettrico	▪ Protezioni contro sovraccarico all'inizio del circuito ▪ Grado di protezione idoneo ▪ Scelta materiale delle custodie	▪ analisi delle condizioni ambientali ▪ analisi dei rischi meccanici ▪ **manutenzione preventiva (integrità custodia e stato guarnizioni)**
Cavi e Conduttori isolati	Carichi fortemente induttivi (saldatrice a induzione, motori brushless)	Distorsione armonica	▪ Sovracorrente nel Neutro	▪ Neutro: sovradimens. sezione conduttore di neutro e protezioni contro sovracorrenti anche per il neutro	
Condensatori di rifasamento	Carichi fortemente induttivi (saldatrice a induzione, motori con inverter)	Distorsione armonica	▪ Esplosione condensatori di rifasamento (arco elettrico)	▪ installarli in quadro dedicato: scelta materiale idoneo del quadro (metallo o mat. plastico autoestin. V0-V1), grado IP idoneo, elevata resistenza meccanica	Condensatori: sovradimensionarli in tensione e potenza. Scelta di condensatori che sopportano livello armoniche dell'impianto

segue

Morsettiere	▪ Cavo serrato male nel morsetto ▪ Morsetto allentato per sollecitazione elettrodinamica della corrente ▪ Inserzione di cavo con sezione maggiore di quella che il morsetto può serrare	Temperatura elevata	▪ Resistenza Localizzata (Cattivo contatto) ▪ Scintilla/arco	▪ Installazione accurata ▪ Manutenzione periodica di controllo ▪ Scelta materiale delle custodie	Piano di manutenzione periodico e verifiche periodiche
Quadro elettrico	Quadro in poliestere (termoplastico) IP65, installato in box con finestre di ventilazione. In giornata estiva molto calda (42°C all'ombra) prende fuoco e distrugge il box	Temperatura elevata	▪ Resistenza Localizzata (Cattivo contatto) ▪ Installazione non idonea all'ambiente	▪ Installazione accurata ▪ Manutenzione periodica di controllo ▪ Scelta materiale delle custodie	▪ Verifica potenza dissipata dalle apparecchiature rispetto all'involucro ▪ Confronto temperature ambientali dichiarate per il quadro con max T ambiente installazione ▪ Piano di manutenzione periodico e verifiche periodiche
Morsettiera	Ambiente inquinato per la presenza di polvere di metallo (smerigliatura) e oli (raffreddamento utensili) aerodispersi	▪ Deposito di polveri conduttrici tra i morsetti ▪ Aggressione chimica custodie	▪ Tracking (arco elettrico)	▪ Grado di protezione idoneo ▪ Scelta materiale delle custodie sia in relazione alle proprietà di comportamento al fuoco che di resistenza alle sollecitazioni chimiche	▪ analisi delle condizioni ambientali ▪ analisi dei rischi meccanici ▪ **manutenzione preventiva (integrità custodia e stato guarnizioni)**

6 I COMPONENTI DELL'IMPIANTO ELETTRICO CAUSA DI PROPAGAZIONE DELL'INCENDIO

6.1 Comportamento al fuoco dei materiali di costruzione delle apparecchiature elettriche

Un incendio può essere originato dall'impianto elettrico, oppure da cause esterne all'impianto e questi esserne investito in qualità di vittima. Ad ogni modo, l'impianto elettrico non deve offrire all'incendio una via di propagazione.
È ovvio che se un incendio è alimentato da materiali combustibili presenti nell'ambiente, fino a propagarsi attraverso questi, l'impianto elettrico ne è investito e viene distrutto. Ma se l'origine dell'incendio coinvolge nelle fasi iniziali i componenti dell'impianto elettrico (innesco elettrico), quest'ultimo deve avere caratteristiche tali da non propagarlo ad altri locali, attraverso i suoi componenti.

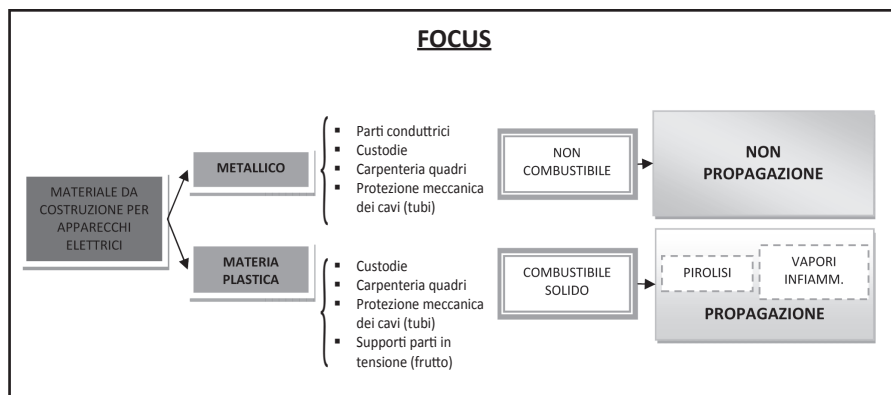
Abbiamo visto come si sviluppa un incendio e come i combustibili liquidi e solidi alimentano la combustione.
I componenti dell'impianto elettrico possono essere di materiale combustibile oppure incombustibile.

Componenti in materiale metallico (in genere rame per i conduttori e acciaio o alluminio per le custodie) non alimentano la combustione essendo non combustibili e quindi non propagano l'incendio.

L'esigenza di utilizzare materiali isolanti per la separazione di parti intensione interne ai componenti e i vantaggi dovuti ai processi industriali di produzione (costi bassi di industrializzazione), hanno favorito l'impiego delle materie plastiche che hanno buone proprietà di isolamento elettrico.
Lo svantaggio delle materie plastiche è che sono combustibili e quindi in presenza di un innesco elettrico o se sono "vittima" di un incendio originato da altre cause, contribuiscono alla propagazione dell'incendio.
In presenza di una sorgente di accensione, i materiali plastici che costituiscono le parti isolanti dei componenti dell'impianto (isolante del componente oppure custodia dell'apparecchio) sono a tutti gli effetti combustibili di tipo solido.

Come vedremo al capitolo 8, le materie plastiche sono realizzate per polimerizzazione di monomeri a base di carbonio e idrogeno, fino ad ottenere polimeri ad elevato peso molecolare.

Quando sottoposti ad una fonte di calore (temperatura, parte incandescente oppure arco elettrico) il comportamento del combustibile solido “materia plastica”, è quello descritto al capitolo 1 . Ovvero quando l’energia della fonte di ignizione è sufficiente a rompere i legami del polimero, si verifica il fenomeno della pirolisi cioè la rottura delle molecole ad alto peso molecolare per formare composti a basso peso molecolare che sono volatili.
I prodotti volatili della pirolisi, alle temperature elevate della combustione in corso, a contatto con l’ossigeno dell’aria possono formare una miscela infiammabile, cioè con concentrazioni comprese tra l’LFL e l’UFL. Tale miscela può quindi infiammarsi e dare origine alla combustione del composto e quindi propagare l’incendio.

Gli isolanti in materiale plastico possono essere ricavati da polimeri termoplastici o da polimeri termoindurenti.
I due tipi di materiale plastico hanno un differente comportamento al fuoco che dipende dalla loro diversa struttura molecolare polimerica e che esamineremo più in dettaglio al capitolo 8.
Ai fini del presente capitolo ciò che prenderemo in considerazione è il concetto generale che le materie plastiche sono combustibili solidi che propagano l’incendio nel modo descritto.

Di conseguenza analizziamo come, secondo la struttura di un impianto elettrico è possibile approcciarsi per cercare di prevenire la propagazione dell’incendio attraverso i componenti dell’impianto elettrico.

6.2 Propagazione attraverso l'impianto elettrico

Un impianto elettrico è in genere distribuito con struttura ad albero partendo dalla cabina di trasformazione MT/BT oppure dal contatore del distributore. L'energia viene distribuita da quadri elettrici nei quali vi sono le protezioni (interruttori, fusibili, differenziali), fino al punto di prelievo per l'utilizzatore (presa a spina).
Gli elementi che collegano detti componenti sono le condutture elettriche costituite dai cavi e dalla relativa protezione meccanica. Per esigenze d'installazione (derivazioni, insilaggio e sfilaggio cavi, ecc.) le condutture sono in genere interrotte da cassette di derivazione contenente morsetti.

Proprio per la caratteristica di portare corrente tra i quadri di distribuzione fino all'utilizzatore, le condutture sono i componenti dell'impianto che attraversano locali diversi di un edificio (tra i quali vi sono anche eventuali compartimenti antincendio). I cavi presentano il rischio di propagare l'incendio da un locale all'altro.

Gli altri componenti (quadri elettrici, cassette di derivazione, prese a spina e utilizzatori, sono installati in un locale definito (eventualmente compartimento antincendio) e presentano il rischio di propagare l'incendio agli altri materiali combustibili presenti nel locale stesso, posti nelle loro vicinanze e non appartenenti all'impianto elettrico.

Riguardo alle caratteristiche delle condutture nei luoghi a maggior rischio in caso di incendio, la norma impianti CEI 64-8, sezione 751, fissa le prescrizioni per realizzarle in modo adeguato. Ammesso che le condutture siano realizzate in modo conforme alla norma, nell'ambito di una analisi complessiva del rischio di propagazione dell'incendio che possa interessare non solo le condutture, ma anche i materiali combustibili nei pressi dell'impianto, meritano attenzione anche i restanti componenti dell'impianto che sono connessi alle condutture (custodie, scatole di derivazione, ecc.).

6.2.1 Propagazione dell'incendio attraverso le condutture

Per conduttura si intende l'insieme del cavo e della sua protezione meccanica (tubo, canale, ecc.).
Se la protezione meccanica non è prevista, la conduttura è costituita dal solo cavo in aria.
I cavi sono isolati in materiale plastico (termoplastico o elastomerico), quindi combustibile, così come alcuni tipi di tubo e canalina isolanti realizzate in materiale termoplastico.

Negli impianti molto estesi e complessi, il materiale combustibile dei cavi è necessario che sia considerato nel calcolo del carico di incendio, poiché i cavi sono spesso installati in fascio in canali o passerelle (si pensi ad esempio a strutture estese, con propria cabina MT/BT, dalla quale partono fasci di cavo di dimensioni considerevoli).
L'installazione in fascio dei cavi aumenta il rischio di propagazione dell'incendio.

La norma impianti CEI 64-8 sez. 751, indica il tipo di condutture ammesse nei luoghi a maggior rischio in caso di incendio.
Sono individuati tre tipi di condutture, a seconda del tipo di cavo (unipolare, multipolare, con o senza conduttore di protezione), del tipo di posa (incassato, a vista) e del tipo di protezione meccanica.
A seconda del tipo di conduttura vi sono prescrizioni relativamente alle caratteristiche del cavo in relazione al fuoco, al fine di impedire la propagazione dell'incendio.

In base al comportamento al fuoco i cavi si distinguono in: non propaganti la fiamma, non propaganti l'incendio, resistenti al fuoco, ad isolamento minerale e a bassa emissione di fumi e gas tossici.
Dei cavi resistenti al fuoco e a bassa emissione di fumi e gas tossici se ne parlerà in seguito.

I cavi non propaganti la fiamma e i cavi non propaganti l'incendio sono richiesti, nei luoghi a maggior rischio in caso di incendio, in tutti i tipi di condutture, ad eccezione di quelle che per realizzazione e/o caratteristiche non sono in grado di propagare l'incendio secondo CEI 64-8/7 sez. 751 (condutture di tipo a):

- Cavi in tubo metallico o isolante incassato in struttura non combustibile;
- Cavi in tubo o canale metallici a vista; con grado di protezione IP≥4X;
- Cavi ad isolamento minerale a vista (senza guaina non metallica all'esterno).

La differenza sostanziale tra cavi non propaganti la fiamma e non propaganti l'incendio è la seguente:

- ***Cavi non propaganti la fiamma:*** il singolo cavo è sottoposto alla fiamma (in determinate condizioni di prova); il cavo si infiamma ma la fiamma non si propaga per più di 55 cm e si spegne quando si rimuove il becco Bunsen (<u>il cavo installato da solo e' autoestinguente</u>) Questo tipo di cavo se installato in fascio non è più autoestinguente, perché un cavo incendia quello vicino. Soprattutto se il fascio è verticale. Per questo motivo la norma ne chiede l'installazione individuale o distanziando più cavi tra loro almeno 25 cm. Sono cavi del tipo : H07V-K, H07RN-F, H05VV-K, conformi alla norma di prodotto EN 50265 (CEI 20-35).

- ***Cavi non propaganti l'incendio****:* la norma prevede l'uso di tali cavi quando sono previsti in fascio. La norma di prodotto, EN 50266 (CEI 20-22), prevede che un fascio di cavi verticale venga sottoposto alla fiamma di un bruciatore dal basso (in determinate condizioni di prova), al termine della prova il fascio non deve essere bruciato per più di 2,5 m. E' determinante il quantitativo di sostanza non metallica presente in un metro di fascio. Per questo motivo la norma di prodotto prevede di indicare in marcatura il tipo di prova eseguito, ad esempio:se il quantitativo è 10 Kg/m, o 5 Kg/m, il cavo è marcato CEI 20-22 II, se il quantitativo è ridotto il cavo è marcato CEI 20-22 III:
    - 10 kg/m CAVI: FROR 450/750 V; FG7OR 0,6/1 kV; N1VV-K marcati CEI 20-22 II;
    - 5 kg/m CAVI: N07V-K 450/750 V; marcati CEI 20-22 II;
    - 1 dm^3/m CAVI: FG7OM1 0,6/1 kV; FG10OM1 0,6/1 kV marcati CEI 20-22 III

Per conservare le proprietà dei cavi non propaganti l'incendio, è fondamentale che il progettista/installatore verifichino che il quantitativo installato in fascio sia inferiore o uguale a quello di prova, poiché altrimenti il cavo non è autoestinguente in fascio. In letteratura esistono tabelle che a seconda della sezione del cavo, tipo di cavo e formazione, forniscono il numero massimo di cavi installabili in fascio.

Se i cavi sono installati in fascio di dimensioni superiori al fascio di prova, si devono prevedere barriere tagliafiamma lungo il percorso della conduttura:

- Ogni 5 m su fasci verticali;
- Ogni 10 m su fasci orizzontali

La norma CEI 64-8 nella parte 5, artt. 527.2 e 527.3, fissa inoltre le prescrizioni per il passaggio delle condutture attraverso gli elementi costruttivi dei compartimenti antincendio.

È richiesta una barriera tagliafiamma esterna alla conduttura, per otturare il foro di passaggio della conduttura attraverso il compartimento, che mantenga le caratteristiche di resistenza al fuoco dell'elemento costruttivo (si può usare lo stesso materiale).

È richiesta anche la barriera tagliafiamma interna alla conduttura, ad eccezione di tubo/canale tale che:

- superi la prova di resistenza alla fiamma delle norme di prodotto (oppure metallico);
- sia di sezione non superiore a 710 mm^2 con grado di protezione almeno IP33
- se, penetrando in ambiente chiuso, entra in una custodia con grado di protezione almeno IP33.

6.2.2 Propagazione dell'incendio attraverso gli altri componenti dell'impianto (quadri, cassette di derivazione, prese a spina, ecc.)

In merito al rischio di propagazione dell'incendio, le norme degli impianti elettrici individuano nelle condutture l'unico elemento dell'impianto elettrico, che possa essere il veicolo per il trasferimento dell'incendio da un ambiente ad un altro. Infatti è solo mediante la combustione del cavo che l'incendio si può propagare attraverso l'impianto elettrico.

Pertanto, ai fini della propagazione dell'incendio, le prescrizioni sulle condutture analizzate al paragrafo precedente, costituiscono una protezione sufficiente.

Ci si può chiedere se i restanti componenti dell'impianto possono o meno avere un ruolo nella propagazione dell'incendio.

Il rischio maggiore dei componenti, nei confronti dell'incendio, è quello di innescare le sostanze combustibili nelle vicinanze e quindi sono causa di innesco ma non di propagazione.
Se i componenti sono in materiale plastico e quindi combustibile, possono inoltre innescare se stessi. In questo ultimo caso potrebbero trasferire la combustione al cavo, che però se installato secondo quanto visto, garantisce la non propagazione dell'incendio da un locale all'altro.
Rimane da considerare che un componente innescato può propagare l'incendio ai materiali combustibili presenti nel locale e ad esso vicini.
Per evitare tale rischio i componenti devono essere scelti in relazione al comportamento al fuoco dei materiali con cui sono costruiti e questo verrà affrontato nel capitolo 8 al quale si rimanda.

È possibile, in favore della sicurezza, eseguire una analisi del rischio residuo quando il componente elettrico è collegato ad una conduttura che non richiede cavi con particolari requisiti contro la propagazione dell'incendio (eccezioni all'installazione di cavi non propaganti la fiamma o l'incendio, viste al paragrafo precedente).
Di seguito si analizzano le situazioni in cui per le condutture non sono richiesti particolari requisiti contro la propagazione dell'incendio, cercando di definire le caratteristiche degli altri componenti per analogia, con lo scopo di prevenire la propagazione dell'incendio attraverso i componenti elettrici quali custodie dei quadri elettrici, cassette di derivazione e prese a spina per installazione fissa.

APPARECCHIATURE CONNESSE A CONDUTTURE CHE NON RICHIEDONO CAVI CON PARTICOLARI REQUISITI CONTRO LA PROPAGAZIONE DELL'INCENDIO

1. ***CAVI IN TUBO METALLICO O ISOLANTE INCASSATO IN SSTRUTTURA NON COMBUSTIBILE***

   I cavi in tubo metallico o isolante incassato in struttura non combustibile, possono essere di tipo ordinario.

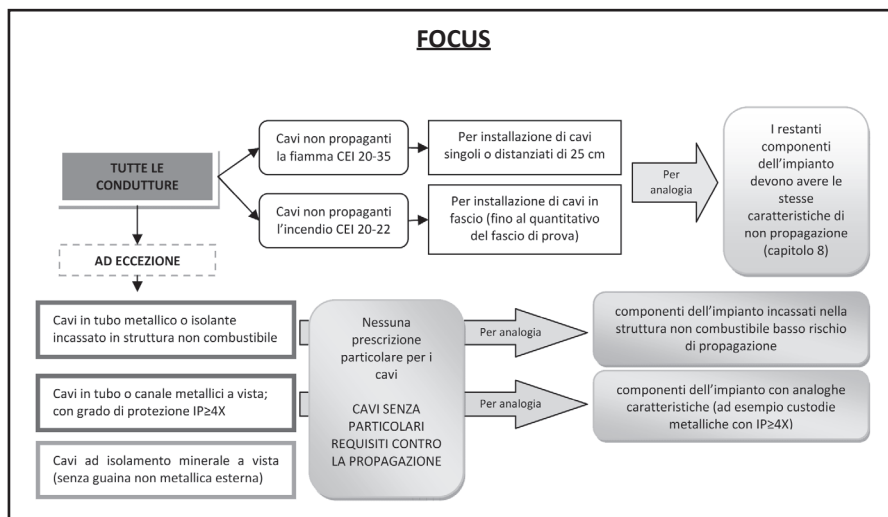
   In questo caso anche i componenti dell'impianto sono incassati nella struttura non combustibile e pertanto si può considerare basso il rischio di propagazione.

2. ***CAVI IN TUBO O CANALE METALLICI A VISTA CON GRADO DI PROTEZIONE IP≥4X***

   Anche i cavi in tubo o canale metallici a vista; con grado di protezione IP≥4X, possono essere di tipo ordinario poiché il tubo metallico non è combustibile.

   Il tubo, o canale metallico, entra in una costruzione elettrica, ad esempio una cassetta di derivazione a vista. Questa può essere interessata da un innesco esterno (combustione di materiale nelle vicinanze).

   Poiché dalla costruzione partono cavi che non sono non propaganti l'incendio o non propaganti la fiamma, l'incendio si può estendere all'isolante del cavo e propagare all'interno del tubo in altro ambiente.

   Pare quindi ragionevole che le costruzioni connesse a questo tipo di condutture, mantengano le stesse caratteristiche della conduttura, questo si può realizzare ad esempio prevedendo cassette metalliche con grado di protezione IP≥4X

7 L'IMPIANTO ELETTRICO A SERVIZIO DEGLI IMPIANTI DI SICUREZZA

Nei luoghi a rischio di incendio, l'impianto elettrico deve alimentare gli impianti necessari alla gestione dell'emergenza in caso di incendio e che garantiscano la sicurezza in caso di esodo dei locali.

L'impianto elettrico di sicurezza è sempre un impianto separato dall'ordinaria alimentazione e ha l'importante compito di funzionare quando serve: al manifestarsi di un incendio.

Le caratteristiche fondamentali dell'impianto elettrico di sicurezza sono:

- essere sempre efficiente;
- essere funzionante anche al mancare della tensione ordinaria (impianto elettrico ordinario fuori servizio);
- funzionare durante un incendio per il tempo necessario all'evacuazione delle persone o al funzionamento di sistemi di estinzione automatica dell'incendio

Pertanto il progettista degli impianti elettrici deve prevedere un impianto di sicurezza alimentato da apposita sorgente, distinta da quella ordinaria ed indipendente (non è valida una seconda alimentazione dalla rete), per l'alimentazione esclusiva degli impianti strettamente connessi alla sicurezza delle persone, quali:

- *illuminazione di sicurezza*;
- *impianto di rivelazione incendi e allarme*;
- *impianto diffusione sonora*;
- *ascensori antincendio*;
- *eventuale sistema di controllo fumi*;
- *pompe antincendio e sistema automatico di estinzione.*

L'alimentazione dell'impianto di sicurezza deve potersi inserire anche con comando a mano posto in posizione conosciuta dal personale.

L'impianto di sicurezza deve entrare in funzione entro un tempo stabilito e funzionare per un tempo stabilito dalle norme di Legge, a seconda dell'impianto di sicurezza e in funzione del luogo di destinazione, ad esempio citiamo gli ospedali:

- *impianto di rivelazione incendi e allarme* : intervento < 0,5 s; durata > 0,5 h
- *impianto diffusione sonora*: intervento < 15 s; durata > 2 h
- *ascensori montalettighe antincendio*: intervento < 15 s; durata > 2 h
- *pompe antincendio e sistema automatico di estinzione*: intervento < 15 s; durata > 2 h

Per mantenere le caratteristiche richieste è necessario che l'impianto funzioni per il tempo necessario all'evacuazione, e ai tempi fissati dalla legge, anche quando l'incendio è in corso.
È nelle fasi iniziali dell'incendio (ignizione e propagazione) che gli impianti di sicurezza devono funzionare, per segnalare allarmi e permettere alle persone l'evacuazione.
Quando l'incendio si avvicina al flash-over, i prodotti della combustione (fumi e gas tossici) è probabile abbiano già fatto danni irreparabili per la vita delle persone. Per questo motivo la parte dell'impianto elettrico più critica e che deve resistere al fuoco sono le condutture che alimentano gli impianti di sicurezza. È fondamentale che gli utilizzatori (lampade di sicurezza, ascensori antincendio, pompe antincendio), non coinvolte direttamente dall'incendio, ma necessarie a consentire la fuga, continuino a funzionare.

Al fine di evitare che i cavi che alimentano l'impianto di sicurezza possano bruciare se coinvolti nell'incendio, sono richieste condutture resistenti al fuoco.

Una conduttura può essere resistente al fuoco per costruzione, quando il tubo è incassato in struttura di un determinato REI, oppure realizzata con cavi resistenti al fuoco: cavi che continuano a funzionare anche se investiti dalle fiamme.

I cavi resistenti al fuoco sono provati secondo due metodi. Il primo in conformità alla norma CEI 20-36/2 (parte 2-1 per cavi di energia estrusi 0,6/1 kV; parte 2-3 per cavi di segnale e parte 2-5 per fibre ottiche), in cui il cavo, che alimenta un carico (lampada) è sottoposto a fiamma (T=750°C) x 90 min. Il carico deve essere alimentato durante la fiamma e fino a 15 min dopo.

Il secondo metodo secondo le norme EN 50200 per d≤20mm (CEI 20-36/4-0) ed EN 50362 per d>20mm (CEI 20-36/5-0), in cui il cavo, che alimenta un carico (lampada) è sottoposto a fiamma (T=830°C) x 15,30,60 e 90 min (viene definito x quanto tempo può rimanere in servizio).
Inoltre Il cavo è piegato a U e sottoposto a SHOCK MECCANICI ogni 5 min, per simulare i reali effetti di un incendio. Il carico deve essere alimentato durante la fiamma e fino a 15 min dopo. Ovviamente questo secondo metodo è più gravoso.

È buona norma alimentare gli utilizzatori dell'impianto di sicurezza con linee dedicate e se possibile in un'unica tratta, mediante cavi resistenti al fuoco, per evitare che possano rimanere senza alimentazione.

In caso di impianti estesi, o quando le sorgenti di alimentazione dell'impianto di sicurezza vengono poste in luogo dedicato e protetto, distante dagli ambienti in-

teressati, vi è l'esigenza impiantistica tecnico/pratica di interrompere la tratta con cassette di derivazione. La motivazione tecnica nasce da questioni legate alla caduta di tensione ed alle raccomandazioni normative impiantistiche di prevedere la sfilabilità dei cavi, per ragioni di manutenzione e flessibilità dell'impianto (CEI 64-8/5 art. 522.8.1.1). Inoltre motivazioni pratiche legate all'installazione impongono, su tratti lunghi di linea, l'interposizione di cassette rompi-tratta per permettere una più agevole posa del cavo.

Una conduttura realizzata a vista in tubo metallico con cavi resistenti al fuoco, qualora sia interrotta da cassette rompi-tratta, deve poter mantenere le caratteristiche di resistenza al fuoco. Perciò, è necessario prevedere cassette e morsetti in materiale resistente al fuoco, cioè non combustibile. Questo implica l'esclusione delle materie plastiche (sia termoplastiche che termoindurenti), in favore del materiale metallico.

A titolo di esempio, si riportano i risultati di prove condotte da Palazzoli S.p.A., presso IMQ (attestato IMQ di conformità n. 344 del 2005-05-12), nelle quali è stata testata la resistenza al fuoco di contenitori in lega di alluminio, connessi a cavi resistenti al fuoco, in conformità alla norma EN 50362 (CEI 20-36/5-0).
Si sono testati due campioni di contenitori in pressofusione di alluminio, con morsettiera a sella interna in ottone, fissata su base ceramica e pressacavi in ottone nichelato. La prova è stata condotta secondo quanto descritto sopra per il secondo metodo utilizzato per i cavi (comprensiva di shock meccanici), con fiamma a T = 830 °C applicata per 120 minuti. Al termine della prova, per entrambi i campioni non si è verificata alcuna interruzione dell'alimentazione del carico di prove, né alcuna interruzione del conduttore.

FOCUS

IMPIANTO ELETTRICO DI SICUREZZA

- **E’ necessario che l’impianto funzioni per il tempo necessario all’evacuazione quando l’incendio è in corso**

- **Al fine di evitare che i cavi che alimentano l’impianto di sicurezza possano bruciare se coinvolti nell’incendio, sono richieste condutture resistenti al fuoco**

- **Una conduttura può essere resistente al fuoco**:
  a) **per costruzione, quando il tubo è incassato in struttura di un determinato REI, oppure**
  b) **realizzata con cavi resistenti al fuoco**: cavi che continuano a funzionare anche se investiti dalle fiamme

CASO b): È buona norma alimentare gli utilizzatori dell’impianto di sicurezza con linee dedicate e se possibile in un’unica tratta, mediante cavi resistenti al fuoco, per evitare che possano rimanere senza alimentazione

Se vi è l’esigenza impiantistica tecnico/pratica di interrompere la tratta con cassette di derivazione (impianti estesi, o quando le sorgenti di alimentazione dell’impianto di sicurezza vengono poste in luogo dedicato e protetto, distante dagli ambienti interessati), allora:

è necessario prevedere cassette e morsetti in materiale resistente al fuoco (non combustibile) per mantenere le caratteristiche di resistenza al fuoco della conduttura realizzata a vista con cavi resistenti al fuoco in tubo metallico

esclusione delle materie plastiche (sia termoplastiche che termoindurenti)

CASSETTE ROMPI TRATTA IN MATERIALE METALLICO

PER GARANTIRE LA RESISTENZA AL FUOCO l’approccio di buona tecnica impone che la cassetta metallica in condizioni di servizio (cavi resistenti al fuoco cablati), sia sottoposta alla prova di resistenza al fuoco della Norma EN 50362 (CEI 20-36/5-0) che prevede anche lo shock meccanico (figura 4)

8 SCELTA DEI MATERIALI

Dalle considerazioni fatte nei capitoli precedenti emerge che una dei fattori critici nello sviluppo di incendi di natura elettrica è il materiale combustibile con cui sono realizzate le apparecchiature, che può alimentare la combustione.
Inoltre il capitolo 4 ha evidenziato che per alcuni tipi di innesco elettrico un corretto dimensionamento dei cavi e delle protezioni elettriche dell'impianto non è sufficiente. Per tali tipi di inneschi elettrici è necessario confinare il principio di incendio entro l'apparecchiatura utilizzando custodie con un determinato grado di protezione IP.
Se la custodia deve impedire che parti calde o incandescenti inneschino l'incendio dei materiali combustibili che possono essere presenti nelle vicinanze dell'apparecchiatura, va da sé che essa stessa non deve essere in grado di contribuire alla combustione e incendiarsi.
Ad esempio, se una custodia viene scelta con un determinato grado di protezione IP sufficientemente elevato da offrire protezione contro la proiezione di scintille o particelle incandescenti, prodotte dal fenomeno dell'arco elettrico internamente alla custodia, per completare il tipo di protezione contro l'incendio è fondamentale che la custodia non sia in grado di propagare l'incendio. Quindi dovrà essere incombustibile (metallica) oppure con elevate qualità di non propagazione dell'incendio.

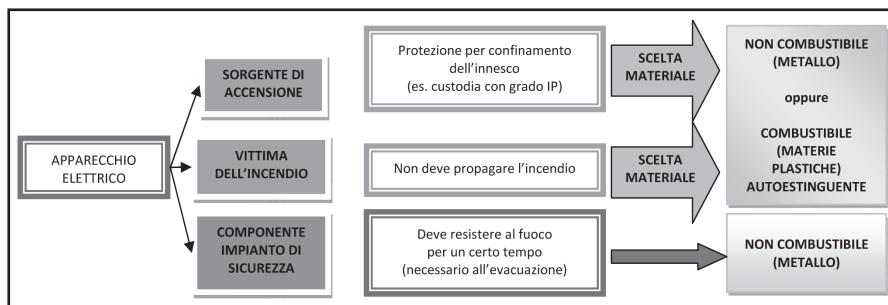
Quando invece l'incendio non è originato dai componenti dell'impianto elettrico, i componenti possono trovarsi in due situazioni differenti.
La prima è quella in cui l'incendio è già avanzato e si trova nella fase di sviluppo o, peggio, di flash-over. In tal caso i componenti combustibili dell'impianto elettrico sono coinvolti con il ruolo di "vittima" e la loro partecipazione all'incendio è inevitabile: non è richiesto ai materiali dei componenti elettrici di resistere ad un incendio generalizzato.
L'altra situazione è invece quella in cui un incendio è nelle fasi di ignizione, per cui necessita di combustibile per progredire e propagarsi. In tal caso, come abbiamo avuto modo di discutere al capitolo 6, il materiale con cui sono realizzate le condutture e i componenti dell'impianto elettrico contribuiscono in modo determinante alla propagazione dell'incendio e quindi costituiscono un elemento critico per la prevenzione dell'incendio.

Infine, se il componente elettrico è parte di un impianto elettrico di alimentazione degli impianti di sicurezza, non può fallire in caso di incendio, poiché da esso dipende la sicurezza delle persone. Il capitolo 7 ha evidenziato come la caratteristica fondamentale di tali apparecchiature elettriche sia la capacità di funzionare durante l'incendio, per il tempo necessario all'evacuazione in sicurezza delle persone.

Più che mai i materiali di questi componenti non devono compromettere il compito di funzionare quando è necessario, ovvero durante l'incendio.

<u>CONCLUSIONE:</u> **IL MATERIALE DI UN APPARECCHIO ELETTRICO DEVE ESSERE SCELTO IN RELAZIONE ALLA FUNZIONE DELL'APPARECCHIO STESSO, OVVERO A SECONDA CHE:**

- **NON PROVOCHI L'INNESCO**
- **NON PROPAGHI LA COMBUSTIONE AD ALTRI MATERIALI**
- **SIA UN COMPONENTE DELL'IMPIANTO ELETTRICO DI SICUREZZA**

IN BASE ALLA FUNZIONE, O A PIU' FUNZIONI, CHE DEVE ASSOLVERE L'APPARECCHIATURA, IL MATERIALE DOVRA' AVERE CARATTERISTICHE DI INCOMBUSTIBILITA' O CARATTERISTICHE DI AUTOESTINGUENZA PIU' O MENO ELEVATE.

8.1 Le Materie Plastiche

Le materie plastiche sono materiali organici (composti del carbonio) o semiorganici a elevata massa molecolare (peso molecolare), cioè molecole molto grandi o macromolecole, che determinano le caratteristiche dei materiali stessi.
Con il termine “polimeri” ci si riferisce al gruppo di tutti i composti costituiti da macromolecole.
Con il termine “materie plastiche”, invece, si indica il prodotto della sintetizzazione chimica dei polimeri.
Per ottenere una materia plastica definita come “materiale” utilizzabile in ambito industriale per la produzione di manufatti, il polimero deve essere miscelato con altre sostanze (quali ad esempio additivi per la lavorazione, stabilizzanti, pigmenti, agenti ignifughi, antistatici, cariche di rinforzo, ecc.) che ne modificano le proprietà (meccaniche, elettriche, comportamento al fuoco, ecc.).

Solo in seguito all’aggiunta di “additivi” dal “polimero” si ottiene la “materia plastica”.

Le caratteristiche delle materie plastiche possono essere spiegate in base alla loro struttura chimica (molecolare), al tipo di additivi e al processo di produzione.
Non è scopo di questo documento addentrarci nella chimica delle materie plastiche e nella tecnologia per la loro produzione, anche perché la chimica dei polimeri è tale da poter realizzare un numero elevatissimo di composti che in questa sede non è possibile analizzare.
Pertanto di seguito tenteremo di illustrare in modo qualitativo, le caratteristiche e le differenze utili a valutare il comportamento delle materie plastiche, comunemente usate per la costruzione dei componenti elettrici, che possono influire sull’innesco e/o propagazione dell’incendio

I polimeri che costituiscono la materia plastica derivano da molecole organiche, ovvero dalla chimica del carbonio.
Come noto il carbonio si lega in modo stabile con quattro atomi di idrogeno per formare una molecola di metano (CH_4). Tale molecola appartiene ai composti chiamati *idrocarburi saturi*, così definiti perché il carbonio è sempre legato con legame semplice (covalente) al massimo numero di atomi di idrogeno.

Se si fornisce energia per rompere uno dei legami C-H, si ottengono dei radicali instabili che tendono poi a ricombinarsi, ad esempio formando doppi o tripli legami

con il carbonio. Questo è quanto accade negli *idrocarburi insaturi* che sono composti in cui il numero di atomi di carbonio non è legato al numero massimo possibile di atomi di idrogeno, a causa della presenza dei doppi legami. Un esempio è l'etilene (CH_2=CH_2).
Se uno dei legami semplici C-H viene rotto, si creano composti che possono ricevere altri atomi, come ad esempio il "gruppo vinilico" che è ricavato dalla rottura di un legame C-H nell'etilene visto pocanzi (CH_2=CH-).
Ad esempio se nel gruppo vinilico si sostituisce un idrogeno con un atomo di cloro si ottiene una molecola di "cloruro di vinile" (CH_2=CH-Cl), che è il *monomero* base per la formazione del polimero *polivinilcloruro (PVC)*.

Se nelle molecole di idrocarburi insaturi si operano sostituzioni o addizioni con altri elementi di diverso tipo oppure con altri "gruppi" di idrocarburi, si ottengono molecole a basso peso molecolare definite *monomeri*.
Partecipano principalmente alla formazione di monomeri atomi quali:

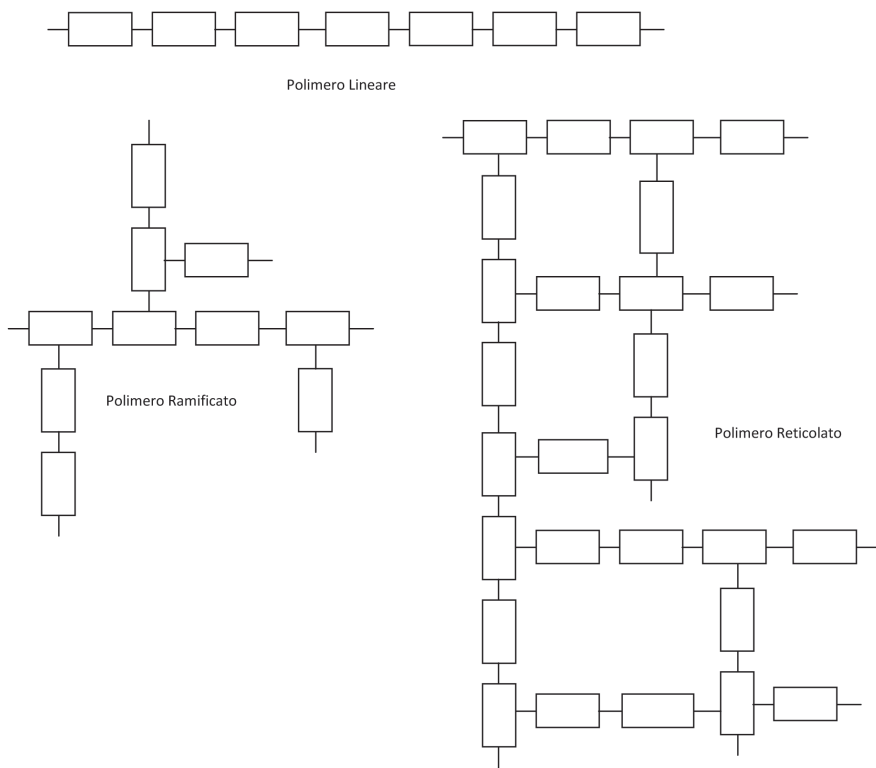
- carbonio (C);
- idrogeno (H);
- ossigeno (O);
- azoto (N);
- cloro (Cl);
- fluoro (F)
- zolfo (S);
- silicio (Si), nei siliconi
- boro (B).

Sintetizzando mediante diverse reazioni chimiche tali composti elementari a basso peso molecolare (monomeri) si ottengono macromolecole organiche formate da una catena più o meno lunga di monomeri, dette *polimeri*.
Da queste prime informazioni sulla struttura chimica di base dei polimeri, si possono già dedurre alcune delle principali caratteristiche delle materie plastiche:

- bassa conducibilità elettrica (isolanti elettrici);
- bassa conduttività termica (isolanti termici).

La struttura chimica del polimero dipende da quanti legami covalenti è in grado di formare il monomero, ovvero dipende dalla *funzionalità del monomero*. Si possono avere monomeri bifunzionali, trifunzionali o polifunzionali.

Monomero bifunzionale   Monomero trifunzionale

Il polimero si sviluppa per *polimerizzazione* di monomeri, sviluppando catene di monomeri lungo le funzioni dei monomeri stessi. I monomeri bifunzionali producono macromolecole lineari; monomeri tri o polifunzionali producono macromolecole ramificate e/o reticolate.

Il grado ed il tipo di ramificazione provocano notevoli differenze delle caratteristiche (tendenza alla cristallizzazione, durezza, ecc.).
Quando le catene polimeriche sono composte da monomeri tutti dello stesso tipo si dicono *omopolimeri.*
Quando i monomeri concatenati sono di differente tipo, allora sono chiamati *copolimeri*. Molte materie plastiche utilizzate nell'industria elettrica sono prodotte a partire da copolimeri.

FOCUS

- **Le strutture reticolate a maglie strette sono caratteristiche dei polimeri TERMOINDURENTI caratterizzati da peso molecolare molto elevato, che conferisce le più elevate resistenze allo strappo con carico all'urto o all'impatto delle materie plastiche**
- **Le strutture reticolari dei polimeri TERMOINDURENTI risultano rigide e se fossero sollecitate alla variazione relativa di tutta la molecola, a seguito ad es. di aumento di temperatura, si avrebbe parziale distruzione della struttura reticolare covalente (no scorrimenti per aumento di Temperatura)**
- **Le strutture lineari o ramificate, a peso molecolare inferiore di quelle a maglie, sono caratteristiche dei polimeri TERMOPLASTICI**

La struttura delle macromolecole (lineare, ramificata o reticolare) conferisce ai polimeri caratteristiche differenti quando sollecitate dall'aumento di temperatura e da sollecitazioni di deformazione da parte di forze esterne.

Le macromolecole, in generale, quando sollecitate da un aumento di temperatura possono manifestare movimenti parziali senza variazione relativa della posizione (*movimento molecolare "microbrowniano"*): movimento di segmenti della molecola senza variare la posizione relativa della molecola stessa (movimento disordinato delle catene).
Quando sono sottoposte a variazione della posizione relativa della molecola (*movimento molecolare "macrobrowniano"*), formano grovigli che vengono eliminati man mano che aumenta la deformazione della molecola.

Tale comportamento termico della struttura implica che i polimeri possono essere costituiti da segmenti corrispondenti ad uno stato disordinato (*struttura amorfa o vetrosa*) e da segmenti di molecola in uno stato ordinato (*struttura cristallina*). Il grado di cristallinità, cioè la frazione di polimero che si trova allo stato cristallino, non è però mai eguale all'unità. Nella massa del polimero coesistono regioni cristalline (cristalliti) assieme a regioni disordinate o amorfe.
In merito al comportamento termico delle fasi strutturali di una macromolecola possiamo avere:

- *Fase amorfa*: caratterizzata da una temperatura T_g detta "temperatura di transizione vetrosa", prima della quale la struttura è di tipo vetroso. Aumentando la temperatura fino a superare la T_g si verifica un rammollimento caratteristico di uno stato *termo-elastico* corrispondente a movimenti "microbrowniani".
  Aumentando ulteriormente la temperatura aumenta il movimento "mac-

robrowniano”, in modo tale che prende il sopravvento la parte di deformazione plastica (viscosa), raggiungendo la *condizione termoplastica*.

- *Fase cristallina*: caratterizzata da una temperatura da una “temperatura di fusione” ($T_m > T_g$), prima della quale la struttura è rigida. Aumentando la temperatura fino al completamento della fusione è presente soltanto una fase amorfa.

Secondo la struttura della fase, le materie plastiche potrebbero attraversare tutti gli intervalli di stato e di transizione sopradescritti, se non si decomponessero prima. Ad esempio la mobilità dei polimeri reticolari sono poco o nulla deformabili plasticamente.

In relazione al comportamento termico della struttura i polimeri sono suddivisi in:

- **TERMOPLASTICI AMORFI**: polimeri lineari e ramificati con struttura amorfa, caratterizzati dalla deformazione plastica quando si raggiunge T_g, che può essere maggiore o minore della temperatura ambiente a seconda che il polimero sia rigido-elastico oppure flessibile.

- **TERMOPLASTICI PARZIALMENTE CRISTALLINI**: polimeri lineari e ramificati con caratteristiche fondamentali dei termoplastici amorfi. La porzione cristallina ne aumenta la durezza. È possibile la condizione plastica solo se portati a temperatura superiore a T_m.
  Se la temperatura di fusione risulta molto al di sopra di T_g allora, dopo la fusione dei cristalliti, si raggiunge subito uno stato termoplastico.
  Se la massa molecolare del polimero è molto elevata (poliammidi ad alto peso molecolare) non si ha $T_m >> T_g$ e alla fusione si raggiunge uno stato termo-elastico.

- **TERMOINDURENTI**: polimeri reticolati, poco o nulla deformabili plasticamente, termicamente irreversibili (a causa della struttura reticolare covalente) con struttura amorfa e grande densità di reticolazione.

Partendo dai polimeri termoplastici oppure termoindurenti, con l’aggiunta di cariche rinforzanti e additivi, attraverso processi produttivi idonei al tipo di polimero, si ottengono le materie plastiche: termoplastiche e termoindurenti.

8.1.1 Comportamento al fuoco delle materie plastiche

Le caratteristiche chimiche dei polimeri di base da cui sono ricavate le materie plastiche, fanno si che queste siano combustibili. Di fatto i materiali polimerici sono infiammabili e se ne deve tenere conto quando vengono impiegati in ambienti dove il rischio di incendio e la sua pericolosità sono di particolare rilievo.

Le norme di prodotto delle apparecchiature elettriche fissano delle prove di tipo, da eseguire sui materiali, al fine di determinarne le caratteristiche di accensione e propagazione della fiamma. Pertanto nella preparazione della materia plastica, oltre agli additivi necessari a migliorarne le caratteristiche meccaniche, chimiche, termiche, ecc., si aggiungono al polimero anche additivi ritardanti di fiamma. Con tali additivi è possibile diminuire la facilità di innesco e/o la velocità di propagazione della combustione, in modo da aumentare l'intervallo di tempo nel quale è possibile intervenire per estinguere l'incendio. Le norme di prodotto fissano la tipologia dei test da eseguire sul materiale finito, in relazione a una serie di parametri (ad esempio lo spessore, la posizione del campione rispetto alla propagazione della fiamma, ecc.), al fine di permettere al costruttore una valutazione del materiale in fase progettuale e una classificazione del materiale utile all'utilizzatore, che ne deve prevedere il corretto impiego in funzione dell'ambiente di installazione.

I materiali polimerici possono accendere o propagare gli incendi perché, per effetto del calore, essi si decompongono con la formazione di composti volatili combustibili.
I polimeri, una volta scaldati al di sopra di certi valori di temperatura, che dipendono dalla loro struttura chimica, subiscono dei processi di degradazione termica che provocano la formazione di prodotti gassosi combustibili (prodotti primari di decomposizione) che sono i primi responsabili dell'infiammabilità dei materiali stessi, in quanto non è mai direttamente il polimero che brucia.

Quando il materiale polimerico viene riscaldato da una sorgente esterna o dal calore emesso nel processo di combustione iniziato per un fenomeno interno all'apparecchiatura (costruzione elettrica causa dell'innesco), si ha l'avvio di un processo che interessa due fasi:

1) La fase condensata dove avviene la degradazione termica, ossidativa o no, con formazione dei prodotti volatili combustibili;

2) La fase gas dove da un processo di ossidazione si formano i prodotti di combustione

Il processo di combustione si può riassumere nelle seguenti fasi:

- ***Riscaldamento***: il materiale polimerico viene riscaldato da una sorgente esterna o dal calore emesso nel processo stesso di combustione una volta iniziato. In questa fase i polimeri ***termoplastici rammolliscono e fondono passando in fase gas per decomposizione***, mentre i ***termoindurenti si decompongono senza fondere***;

- ***Degradazione termica***: la degradazione è un processo che richiede calore (processo endotermico);
-
    - deve essere fornita al materiale una quantità di energia al di sopra dell'energia di attivazione del processo, che corrisponde alla scissione dei legami chimici delle molecole che costituiscono il materiale.
    - La rottura delle molecole di polimero provoca la formazione di specie chimiche gassose molto reattive (radicali liberi) che continuano il processo di degradazione ad alte velocità portando alla formazione di prodotti gassosi secondari e/o residui carbonizzati;

- ***Innesco***: i prodotti gassosi primari formati nel processo di decomposizione una volta miscelati con l'ossigeno si incendiano da soli se sono ad una concentrazione e ad una temperatura idonee oppure per mezzo di una fiamma di innesco esterna;

- ***Sviluppo di fiamme***: la diffusione delle fiamme avanza sulla superficie del materiale decomposto. La temperatura del materiale polimerico (500°C) è più bassa di quella della fiamma (1200°C). Questo processo determina la formazione dei prodotti combustibili, come acqua, anidride carbonica, monossido di carbonio, di fumo e di calore il quale in parte viene disperso nell'ambiente ed in parte va ad alimentare di nuovo la degradazione termica iniziando così un processo ciclico che continua attraverso la formazione di prodotti volatili (il fenomeno si autoalimenta).

FOCUS

COMPORTAMENTO AL FUOCO DEI POLIMERI TERMOPLASTICI
In generale i polimeri a contatto con una parte incandescente o una fiamma generano vapori infiammabili
I vapori infiammabili alimentano la combustione

POLIMERI TERMOPLASTICI

- **fondono prima di decomporsi per formare vapori infiammabili**
- **L'aggiunta di additivi contribuisce a conferire al polimero qualità di autoestinguenza**
- Con il termine "autoestinguente" si intende un materiale che brucia se sottoposto all'origine di una fiamma esterna, ma che cessa di bruciare quando questa fiamma esterna viene allontanata o si esaurisce
- **L'autoestinguenza è condizione necessaria per la non propagazione se l'innesco è di tipo elettrico o se la sorgente esterna è nella fase iniziale dell'incendio (innesco)**
- **Se il polimero è investito dalle fiamme di un incendio in corso e già propagato l'autoestinguenza come concetto non è applicabile: la fiamma non si allontana e quindi il polimero partecipa alla combustione.**
  IN QUESTO CASO E' PREFERIBILE IL MATERIALE METALLICO (IMPIANTI DI SICUREZZA)

INFLUENZA DEGLI ADDITIVI RITARDANTI LA FIAMMA

- I ritardanti la fiamma hanno strutture chimiche in grado di rallentare od interrompere il ciclo di combustione auto sostenuto
- **alcuni degli additivi ritardanti la fiamma, producono la formazione di fumo opaco e gas tossico che possono rappresentare un pericolo per la vita tanto temibile quanto la combustione dei polimeri**
- Ad esempio nelle materie plastiche utilizzate nelle costruzioni elettriche, è di comune l'impiego degli alogeni. Più diffuso è il cloro che produce acido cloridrico (HCL)

FOCUS

COMPORTAMENTO AL FUOCO DEI POLIMERI TERMOINDURENTI
In generale i polimeri a contatto con una parte incandescente o una fiamma generano vapori infiammabili
I vapori infiammabili alimentano la combustione

POLIMERI TERMOINDURENTI

- **decompongono dando direttamente composti gassosi**
- **tendenza a formare prodotti di decomposizione gassosa meno marcata che nei termoplastici**
- **il calore può causare carbonizzazione della superficie e prevenire così l'accensione**
- In contrasto con i termoplastici, la pirolisi e la combustione dei termoindurenti dà luogo a **minimo sviluppo di fumo**: questo è dovuto alla struttura reticolata che porta alla carbonizzazione e libera pochi prodotti di decomposizione in fase gassosa

8.2 Materiali Termoplastici e Termoindurenti

8.2.1 Termoplastici

Tra i materiali termoplastici comunemente utilizzati nell'industria di produzione dei componenti elettrici, vi sono i seguenti:

- Polietilene (PE);
- Polipropilene (PP);
- Polistirene (PS);
- ABS [(AN (PS + acrilonitrile) + elastomero butadiene];
- Polivinilcloruro (PVC);
- Polimetacrilato (PMMA);
- Poliammidi (PA6 e PA66);
- Policarbonato (PC);

Le proprietà dei suddetti materiali dipendono fortemente da una serie di fattori quali:

- Additivi: plastificanti, cariche, ritardanti la fiamma, fibre di vetro, nero fumo, ecc.

- Tecnica di polimerizzazione;
- Addizione tra polimeri differenti e blend (miscele di polimeri diversi)
- Temperature di lavorazione;
- Ecc.

Il risultato è una gamma molto ampia, a parità di polimero base, che porterebbe la nostra trattazione troppo nello specifico della tecnica dei polimeri.
Di conseguenza la scelta è rimandare al confronto delle proprietà tra termoplastici e termoindurenti che illustreremo nel seguito.

8.2.2 Termoindurenti

Per elencare i materiali termoindurenti maggiormente utilizzati nell'industria elettrica, è necessaria una breve introduzione.

Si tratta di materiali solitamente molto rigidi, che mantengono un comportamento elastico fino alla temperatura di decomposizione, pertanto non sono adatti alla lavorazione a caldo. La formatura avviene contemporaneamente oppure prima della reticolazione chimica finale (indurimento).

I termoindurenti sono classificati in funzione della resina reattiva (resina reticolabile) da cui sono ottenuti per compressione, iniezione, ecc. additivate con agenti di rinforzo e cariche.
A seconda del processo di formatura si distinguono:

- *Masse da stampaggio termoindurenti* (per compressione): normalmente in forma di granulato, bastoncini o strisce;
- *Prepreg* (preimpregnati): sono masse di grandi dimensioni o colate in continuo.

Per le masse da stampaggio sono state adottate le seguenti sigle e definizioni:

- *GMC* (Granulated Moulding Compounds) o *PMC* (Pelletized Moulding Compounds): masse da stampaggio essiccate, fluide o scorrevoli o sinterizzate in barrette;

- *BMC* (Bulk Moulding Compounds): masse simili a pasta, umide e fibrose additivate con addensante chimico;

- *DMC* (Dough Moulding Compounds): masse simili a pasta, umide e fibrose additivate con maggiore percentuale di carica;

- *SMC* (Sheat Moulding Compounds, mats di resina): masse da stampaggio impregnate “prepreg” con fibre di rinforzo mono-orientate bidimensionali, prevalentemente lunghe da 25 a 50 mm (rovings di fibre di vetro da 25 a 65% di peso)

- *SMC-D* (D=Directed): con una parte di fibra lunga da 75 a 200 mm orientata trasversalmente, quasi non scorrevole longitudinalmente;

- *SMC-C* (C=Continuous): con una parte di fibra longitudinale continua, non scorrevole longitudinalmente.

Le masse viste pocanzi possono essere a base di (si elencano solo alcune tra quelle utilizzate per i componenti elettrici):

- Formaldeide
    - Fenolformaldeide (PF), resine note anche come fenoplasti;
    - Formaldeide Melamina (MF), resine note anche come amminoplasti;

- Poliesteri insaturi (UP)

8.3 Lega di Alluminio

Le leghe di alluminio, dette anche leghe leggere, sono leghe ottenute principalmente con la combinazione tra alluminio e rame, zinco, manganese, silicio, o magnesio. Le principali caratteristiche di queste leghe sono:

- bassa densità: il loro peso specifico è uno dei più bassi fra tutti i materiali strutturali (2,7 g/cm³ contro i 7,9 g/cm³ dell'acciaio)

- elevata duttilità a causa della loro struttura cristallina cubico F (a facce centrate): Grazie a questa proprietà è possibile realizzare fogli sottilissimi di alluminio, come ciascuno di noi può sperimentare nelle applicazioni alimentari. Anche a basse temperature, per la loro struttura cristallina, le leghe di alluminio si mantengono duttili.

- elevata conduttività termica ed elettrica: questa caratteristica rende alcune leghe di alluminio adatte alla realizzazione di materiale elettrico.

- basso punto di fusione (ca. 660 °C): la temperatura di fusione limita le applicazioni strutturali dell'alluminio a temperature d'esercizio massime di 200-300 °C (300 °C per leghe appositamente studiate).

- resistenza a corrosione in ambiente atmosferico: le leghe leggere resistono bene alla corrosione generalizzata, ma soffrono di alcuni altri tipi di corrosione, e per questo vengono trattate con procedimenti come l'anodizzazione o l'applicazione di vernice protettiva (primer). Se non trattata in maniera particolare, la superficie di un oggetto in lega d'alluminio appare lucida, essendo assenti fenomeni di corrosione generalizzata, a differenza degli acciai ferritici.

Caratteristiche altrettanto importanti sono la **non combustibilità e la resistenza all'urto tipica dei metalli** che hanno fatto si che l'alluminio sia frequentemente utilizzato per la realizzazione di contenitori e custodie per la protezione delle apparecchiature elettriche. Infatti, rispetto al materiale plastico, le qualità di resistenza alla corrosione e agli urti, unito al fatto che il metallo non è combustibile, rende le **custodie in alluminio particolarmente indicate per l'impiego in ambienti gravosi e con rischio specifico** (ad esempio, aggressione chimica, rischio incendio, ecc.).

La conducibilità dell'alluminio nelle custodie elettriche potrebbe far pensare ad uno svantaggio. Le custodie in alluminio infatti non possono essere di classe di isolamento II, ma ciò non costituisce impedimento poiché la protezione contro i con-

tatti elettrici indiretti avviene con la messa a terra della custodia, precauzione che favorisce il non accumulo di cariche elettrostatiche sulla superficie del materiale. L'eliminazione del rischio di accumulo di carica elettrostatica è una caratteristica importante per l'impiego in luoghi dove vi è il rischio di innescare materiali infiammabili, come nei luoghi con pericolo di esplosione.

Per non perdere tale vantaggio, si deve verificare che dopo i trattamenti eventuali di anodizzazione o verniciatura, la conducibilità sia ancora buona.

L'unica limitazione alle caratteristiche dell'alluminio, per la sicurezza, deriva dalla norma tecnica di riferimento per la direttiva Atex 94/9/CE, che richiede leghe di alluminio con percentuale di magnesio inferiori a 7,5% per evitare reazioni alluminotermiche. Tuttavia nella maggior parte delle leghe di alluminio utilizzate nel settore elettrico, e non, tale limite è ampiamente rispettato.

L'impiego delle leghe d'alluminio nell'industria è sempre cresciuto con il passare degli anni. Nel 2000 le leghe di alluminio hanno superato la plastica come terzo materiale più usato nella costruzione di automobili, nel 2006 l'acciaio come secondo materiale più usato. Per questo i processi produttivi sono divenuti molto più efficienti: negli ultimi 50 anni, la quantità media di elettricità per fabbricare un chilogrammo di alluminio è diminuita da 26 kWh a circa 15 kWh.

8.4 Termoplastici, Termoindurenti e Alluminio a confronto

Di seguito proponiamo alcune tabelle di confronto tra i materiali termoplastici e termoindurenti in cui sono evidenziate proprietà interessanti ai fini della scelta delle apparecchiature elettriche, affinché non vi siano rischi di innesco o propagazione incendio. Tali proprietà saranno confrontate anche con quelle della lega metallica Alluminio.
Le proprietà sono analizzate anche da un punto di vista pratico, relativamente ai provvedimenti per non innescare l'incendio (mantenimento del grado IP, comportamento al fuoco, danni meccanici, ecc.)

TABELLA 1 - CARATTERISTICHE TERMICHE – SCELTA MATERIE PLASTICHE IN RELAZIONE ALLA T DI IMPIEGO

Tipo	Materia Plastica	Tenore Vetro %	Temperatura di impiego (°C)			**Note**
			Max per breve tempo	Max Continuativa	Min Continuativa	
TERMOPLASTICI	PE-LD	0	80-90	60-75	-50	Prestare attenzione alla max Ta di installazione da confrontarsi con la temp massima continuativa di impiego
	PE-HD	0	90-120	70-80	-50	Prestare attenzione alla max Ta di installazione da confrontarsi con la temp massima continuativa di impiego
	PP	0	140	100	0/-30	Prestare attenzione alla min Ta di installazione da confrontarsi con la temp minima continuativa di impiego
	PS	0	75-90	60-80	-10	Prestare attenzione alla max e min Ta di installazione da confrontarsi con la temp massima/minima continuativa di impiego
	ABS	0	85-100	75-85	-40	Prestare attenzione alla max Ta di installazione da confrontarsi con la temp massima continuativa di impiego
	PVC	0	75-90	65-70	-5	Cavi: le considerazioni sulla max temperatura sono già prese in considerazione dalla NORMA IMPIANTI in relazione al dimensionamento delle protezioni contro le sovracorrenti. PRESTARE ATTENZIONE ALLA MINIMA Ta in quanto l'isolante del cavo potrebbe fessurarsi e con il rischio di mettere a nudo parti in tensione (arco elettrico)
	PMMA	0	85-100	65-90	-40	Prestare attenzione alla max Ta di installazione da confrontarsi con la temp massima continuativa di impiego
	PA 6	30	140-180	80-110	-30	
	PA 66	0	170-200	80-120	-30	
	PC	0	115-150	115-130	-150	

segue

TERMOINDURENTI	PF	vario		110-130		Prestare attenzione alla min Ta di installazione da confrontarsi con la temp minima continuativa di impiego
	MF		120	80		Prestare attenzione alla min Ta di installazione da confrontarsi con la temp minima continuativa di impiego
	UP		160-180	120-140		OTTIMO PER IMPIEGHI A TEMPERA-TURE ELEVATE Prestare attenzione alla min Ta di installazione da confrontarsi con la temp minima continuativa di impiego
	UP	10-20	200	150		OTTIMO PER IMPIEGHI A TEMPERA-TURE ELEVATE Prestare attenzione alla min Ta di installazione da confrontarsi con la temp minima continuativa di impiego

ALLUMINIO

temperature d'esercizio massime di 200-300 °C
nessuna limitazione alle temperature minime ambientali di normale applicazione (fino a -30 °C)

TABELLA 2 – RESISTENZA AGLI AGENTI CHIMICI – SCELTA IN RELAZIONE ALLE SOLLECITAZIONI AMBIENTALI (Rischio di invalidazione della funzione di barriera della custodia)

tipo	Materia plastica	Acqua	ACIDI			ALCALI		Sali inorganici	Alogeni	Composti ossid.	SOLVENTI										Carburanti	Oli minerali	Grassi oli
			Deboli	Forti	Acido fluoridrico	Deboli	Forti				Idrocarburi paraffinici	Alogeni-alcani	Alcoli	Eteri	Esteri	Chetoni	Aldeidi	Ammine	Acidi inorganici	Composti aromatici			
Termoplastici	PE-LD	+	+	+	+	+	+	+			x		+	o	@	@	@	+	+	@	@	@	@
	PE-HD	+	+	+	+	+	+	+				x	+	o	+	+			+	@	@	@	+
	PP	+	+	@	@	+	+	+	x		@	x	+	o	@	@	+	+	@	x	@	+	+
	PS	+	+	@	@	@	+	+		o	x		+	x			x	+	@	x	x	o	+
	ABS	+	+	@	+	+	+	+		x	o		@				x	+	+		+	+	+
	PVC	+	+	+	+	@	+	+	o	+	+	x	+	x			x	@	@	x	x	+	+
	PMMA	+	@	@	o	+	+	+	o	o	@		o	@		o	+	+	x	x	@	+	+
	PA 6	+				@	+	+			@	@	@	+	+	+	@	+	@	@	+	+	+
	PA 66	+				@	+	+			@	@	@	+	+	+	@	+	@	@	+	+	+
	PC	+	+	x	@			@	+	o	@		@		o	o			o		@	+	+
Termoin durenti	PF	+	o			o						@	@	@	@	@				@	@	+	+
	MF	+	o			@						@	+	@	@	@				@	@	+	+
	UP	+	@	o		@		+	x	x	+	x	@	x	x	x	x	@	x	x	+	+	+

+ STABILI
@ LIMITATAMENTE STABILI
O DA LIMITATAMENTE INSTABILE A INSTABILE
X INSTABILE

ALLUMINIO

Con trattamento di anodizzazione offre resistenza elevata a qualsiasi attacco chimico

TABELLA 3 – RESISTENZA DEI MATERIALI ALLE INCRINATURE PER TENSIONI INTERNE – SOSTANZE CHE INDUCONO FESSURAZIONE – SCELTA IN RELAZIONE ALLE SOLLECITAZIONI AMBIENTALI
(Rischio di invalidazione della funzione di barriera della custodia)

Rottura fragile di materie termoplastiche, dovuta a tensioni interne, in presenza di sollecitazioni ambientali.
Non è collegata con la resistenza chimica. È un parametro importante per la scelta in relazione alla presenza di particolari sostanze nell'ambiente di installazione

Sostanze che inducono la fessurazione (rottura fragile in corrispondenza delle tensioni interne al materiale)	TERMOPLASTICI							
	PE	PP	PS	ABS	PVC	PMMA	PA	PC
Acetone			X	X			X	X
Etanolo			X	X		X		
Etere	X		X	X				
Alcoli	X							
Anilina	X	X						
Benzina	X		X	X			X	
Petrolio	X							
Acido acetico	X	X						
Esteri	X							
Glicerina						X		
Olio combustibile	X							
Eptano			X	X				
Esano			X	X				
Isopropanolo			X	X				
Potassa caustica	X							
Chetoni	X							X
Idrocarburi aromatici								X
Alogenuri di metalli							X	
Metanolo			X	X	X			
Soda caustica	X					X		
Ipoclorito di sodio	X	X						
Olio di paraffina						X		
Olio vegetale			X	X				
Agente di rigonfiam. Clorurato								X
Acido nitrico	X	X						
Acido siliconico	X							
Acido solforico		X						
Tensioattivi	X							
Trementina		X						X
Tetracloro-carbonio	X						X	X
Acqua	X					X		

segue

Tipo	Materia Plastica	Sostanze che inducono la fessurazione (rottura fragile in corrispondenza delle tensioni interne al materiale)
TERMOPLASTICI	PE	Soluzione di tensioattivi (5%), 80 °C (tempo 4 h)
	PP	Acido cromico, 50°C
	PS	n-eptano petrolio-benzina, intervallo di distillazione 50-70 °C n-eptano: n-propanolo (1:1)
	ABS	Diottilftalato Toluolo: n-propanolo (1:5) Metanolo Acido Acetico (80%) Toluolo
	PVC	Metanolo Cloruro di metilene Acetone
	PMMA	Toluolo: n-eptano (2:3) Etanolo n-metilformammide
	PA 6	Soluzione di cloruro di zinco (35%)
	PA 66	Soluzione di cloruro di zinco (50%)
	PC	Toluolo: n-propanolo (da 1:3 a 1:10) Tetracloruro di carbonio Ln soda caustica (5%)

TERMOINDURENTI E ALLUMINIO
non presentano problematiche dovute a rotture fragili per tensioni interne

9 PRESCRIZIONI NORMATIVE PER LA COSTRUZIONE DELLE APPARECCHIATURE ELETTRICHE: PROVE DI TIPO

Le apparecchiature elettriche sono soggette alle direttive comunitarie, che prendono in considerazione il rischio elettrico. Le direttive CE forniscono i requisiti essenziali di sicurezza per la realizzazione delle apparecchiature. Costruendo un apparecchiatura in conformità alle norme europee armonizzate del CENELEC (norme EN), si ha la presunzione di conformità ai requisiti essenziali di sicurezza delle direttive e il prodotto può liberamente circolare nel mercato europeo essendo considerato sicuro.

Le norme di prodotto prescrivono una serie di caratteristiche di sicurezza che le apparecchiature devono rispettare, e stabiliscono le relative prove di tipo per testare i campioni dell'apparecchiatura.
Tra le prove che sono richieste, a seconda del tipo di apparecchiatura elettrica, vi sono dei test che sono richiesti per descriverne le proprietà, piuttosto che la rispondenza a dei valori limite.
Il concetto applicato dalle norme è quello di fissare limiti di sicurezza quando il rischio è legato alle caratteristiche intrinseche del prodotto, invece quando il rischio è legato alle condizioni esterne (ambiente di installazione, modo di installazione, ecc.) non sono fissati i limiti, ma il tipo di prove per determinare le caratteristiche (e comunicarle all'utilizzatore attraverso la marcatura) che l'utilizzatore dovrà considerare in relazione al luogo e le condizioni ambientali in cui dovrà installare l'apparecchiatura. Le norme impianti (alcuni esempi sono riportati al par. 1.4) fissano le prescrizioni minime per la scelta delle caratteristiche dei prodotti in funzione dei tipi di ambienti e dei rischi connessi al luogo di installazione.

Le norme e le prove prese in considerazione, sono le norme tecniche armonizzate CENELEC che danno la presunzione di conformità alle direttive europee.
Sono prese in considerazione le prescrizioni di alcune delle norme relative alle principali apparecchiature di uso comune negli impianti, come ad esempio:

- EN 60947-1 "Apparecchiature a bassa tensione - Parte 1: Regole generali";
- EN 60309-1 "spine e prese per uso industriale – Parte 1: prescrizioni generali";
- EN 62208 "involucri vuoti per apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione";

- EN 60439-1 “apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) – parte 1: prescrizioni generali”
- EN 60439-5 “parte 5: prescrizioni particolari per apparecchiature di distribuzione di reti pubbliche”.

Infine sono prese in considerazione le norme CENELEC o IEC, richiamate dalle norme sopra citate, che fissano i metodi di prova per i test prescritti.

9.1 Prove sui materiali plastici

La maggior parte delle prove sui materiali riguardano i materiali plastici, sia termoplastici che termoindurenti, in conseguenza del fatto che il comportamento in esercizio di questi materiali dipende dalle condizioni di temperatura. Abbiamo visto che le apparecchiature elettriche sviluppano calore per effetto Joule dovuto al passaggio della corrente, in conseguenza al guasto e nel caso di formazione dell’arco elettrico. I materiali plastici, di contro, mutano le loro caratteristiche in funzione della temperatura (comportamento rigido o plastico con deformazione, in relazione alla temperatura di rammollimento). Pertanto si devono considerare le conseguenze sui materiali combustibili a causa del calore sviluppato che ne può inficiare la stabilità, sia nel caso in cui il calore sia dovuto al normale funzionamento, che al funzionamento anormale eventualmente causato dallo sviluppo di un incendio.

9.1.1 Verifica della stabilità termica

La costruzione elettrica, montata come per l’uso, viene sottoposta ad immagazzinaggio in camera climatica ad una temperatura fissata dalla norma (ad esempio 70°C) per una settimana. Successivamente viene mantenuto alla temperatura ambiente per quattro giorni, con umidità relativa compresa tra il 45% e il 55%.
Il campione non deve presentare incrinature visibili a occhio nudo, né il materiale deve essere colloso o viscoso.
La prova ha lo scopo di verificare che la materia plastica rimanga stabile alle temperature di funzionamento orinario.

9.1.2 Verifica della resistenza al calore

La costruzione elettrica è sottoposta a prova di pressione con una forza di 20 N, esercitata da una sfera di acciaio di 5 mm di diametro. La prova viene eseguita in camera climatica ad una temperatura fissata dalla norma (ad esempio 70°C). Dopo

1 ora la sfera viene rimossa e il campione viene raffreddato entro un tempo di 10 s, sino a circa la temperatura ambiente, mediante immersione in acqua fredda. La misura del diametro dell'impronta non deve essere superiore a 2 mm.
Lo scopo della prova è quello di verificare la resistenza del materiale plastico al calore, senza subire deformazioni plastiche che ne modifichino gli spessori e la conformazione. Sostanzialmente si verifica che non si superi la temperatura di transizione vetrosa oltre il quale si manifestano comportamenti plastici.

9.1.3 Verifica della resistenza al calore anormale e al fuoco

Le classificazioni dei materiali in funzione della resistenza al calore anormale e al fuoco più note nelle applicazioni elettriche, sono la temperatura di resistenza al filo incandescente (glow wire) e la classificazione del materiale secondo la resistenza alla fiamma della norma americana UL94 (l'equivalente norma europea che adotta gli stessi metodi di prova e la stessa classificazione è la EN 60695-11-10). Tuttavia informazioni più complete sul materiale comprendono anche altre due verifiche: la prova di accensione con filo incandescente (HWI) e la prova di accensione all'arco (AI).
Queste ultime due prove sono utili per la scelta del materiale per cercare di prevenire le cause di innesco dovute, ad esempio, all'arco elettrico o al cattivo contatto. Sono ad esempio prescritte dalla norma EN 60947-1 per le apparecchiature di bassa tensione, con la precisazione che la prova di accensione all'arco è richiesta solo se il materiale si trova entro 13 mm dalle parti esposte all'arco o dalle parti attive che sono soggette all'allentamento delle connessioni. Una completa classificazione del materiale plastico dovrebbe riportare i quattro indici: glow wire, classe di comportamento al fuoco, HWI e AI come riportato nell'esempio in tabella.

9.1.3.1 Prova del filo incandescente (glow wire)

Metodo di prova
Un filo realizzato in nichel-cromo (80/20), di diametro 4 mm di forma ad anello, viene riscaldato e portato all'incandescenza mediante circuito elettrico.
Le temperature a cui si porta il filo incandescente sono normalizzate nei valori 550-650-750-850-960 °C. L'estremità del filo incandescente viene portata a contatto con il campione in prova per 30 s con forza 1N.
Per valutare la possibilità di propagazione del fuoco, per esempio, a causa di particelle incandescenti o infiammate che cadono dal provino, si posiziona uno strato di carta velina su una tavola liscia di legno al di sotto del provino, per osservare se si incendia o meno. Il campione su cui si effettua la prova dipende dallo scopo della prova. Quando la prova viene eseguita per verificare l'infiammabilità dei prodotti

finiti (ad esempio come prescritto dalle Norme EN 60997 ed EN 60309), si applica all'apparecchio elettrico il filo incandescente alla temperatura di prova e si considera superata la prova (apparecchio resistente alla temperatura di prova) se non vi sono fiamme o particelle incandescenti oppure se si verifica una delle condizioni seguenti:

- Fiamme o incandescenze si estinguono entro 20 s dopo la rimozione del filo,
- Non si ha incendio della carta velina.

Interessante è l'indicazione di guida alla prova che fornisce la Norma EN 60965-2-11 (allegato informativa A), che suggerisce per apparecchiature destinate all'uso senza sorveglianza a carico continuo, di applicare temperature di 850 °C – 960 °C.
L'allegato A è richiamato come prescrizione nella Norma EN 60947-1.
Quando la prova viene eseguita per classificare un materiale secondo indici di infiammabilità o incendiabilità al filo incandescente, rispettivamente GWFI e GWIT, vengono provati provini di materiale di spessore deciso dal produttore scegliendo tra 0,75-1,5 e 3mm.

- GWIT: ricerca della temperatura massima alla quale il provino si infiamma,
- GWFI: ricerca della temperatura massima alla quale è soddisfatta una delle seguenti 2 condizioni:

- Fiamme o incandescenza del provino, si estinguono entro 30 s dopo la rimozione del filo,
- Non vi è accensione del provino

Il valore degli indici è dato come temperatura tra quelle normalizzate fino al massimo di 960 °C, più il valore dello spessore del provino.
Le norme di prodotto richiedono, generalmente, 850-960 °C per le parti isolanti che portano elementi in tensione e 650 °C per le altre.

9.1.3.2 *Prova di infiammabilità (EN 60695-11-10)*

E' una procedura di applicazione di una fiamma, orizzontale o verticale, a provini di un dato materiale plastico, al fine di darne una classificazione in relazione alla resistenza alla fiamma. Il metodo di prova è utilizzato in genere in qualità di "prove di preselezione" per la scelta del materiale idoneo alla realizzazione dell'apparecchiatura finita.
La norma prevede due metodi che differiscono per la posizione orizzontale o verticale del campione in prova.

La **posizione orizzontale (combustione orizzontale HB)** è adatta a valutare la lunghezza bruciata e/o la velocità della propagazione della fiamma (velocità lineare di combustione).

La **posizione verticale (combustione verticale V)** è indicata per valutare la lunghezza bruciata dopo aver ritirato la fiamma.

I risultati con i metodi HB e V non sono equivalenti.

E' importante sottolineare che la norma specifica che i risultati non devono essere utilizzati per descrivere o valutare il richio di incendio presentato da un particolare materiale in condizioni di incendio reali.

Nella **prova di fiamma orizzontale**, si applica la fiamma per 30 s e si verifica se, quando la fiamma è rimossa, il provino continua a bruciare e se il fronte di fiamma raggiunge il limite di 100 mm dal punto di applicazione della fiamma, misurandone la velocità di avanzamento. Il materiale è classificato come:

1. HB40 se presenta uno dei seguenti criteri:
   - Non brucia al ritiro della fiamma,
   - Il campione continua a bruciare con fiamma ma, dopo il ritiro della fiamma, il fronte non supera 100 mm,
   - Se il fronte supera i 100 mm non deve avere velocità lineare > 40 mm/min.
2. HB75 se ha velocità lineare > 40 ma < 75 mm/min, quando il fronte supera 100 mm.

Nella **prova alla fiamma verticale**, un bruciatore con fiamma verticale viene posizionato in linea con il campione posto longitudinalmente al bruciatore. Un cuscino di cotone viene posizionato sotto il campione, la fiamma viene applicata sul bordo inferiore del provino per 10 s e poi rimossa. Si cronometra il tempo t_1 dell'eventuale fiamma residua sul campione, fino all'autoestinguenza. Si applica nuovamente la

fiamma verticale per 10 s e si rimuove il bruciatore. Si misura il tempo t_2 della durata di fiamma residua ed il tempo t_3 della durata di incandescenza residua t_3. Si prova un lotto di 10 provini.

CRITERI	CATEGORIA		
	V-0	V-1	V-2
Durata della fiamma residua del singolo campione (t_1 e t_2)	≤ 10 s	≤ 30 s	≤ 30 s
Durata della fiamma residua del lotto complessivo t_1	≤ 50 s	≤ 250 s	≤ 250 s
Durata della fiamma residua + incandescenza dopo la seconda applicazione (t_2 + t_3)	≤ 30 s	≤ 60 s	≤ 60 s
La fiamma residua e/o l'incandescenza residua sono arrivate al supporto?	NO	NO	NO
Il tappetino di cotone è stato incendiato da particelle o gocce infiammate?	NO	NO	SI

9.1.3.3 Prova di accensione con filo incandescente (HWI)

Si sottopongono a prova 5 provini. Il campione viene avvolto con un filo Nichel-Cromo fino a formare 5 spire complete distanti 6mm e tenuto in posizione verticale.
Si alimenta il filo fino a dissipare 0,26 W/mm fino a quando il campione si incendia e si determina il tempo di accensione (HW). Se l'accensione non avviene in 120 s, si sospende la prova.

9.1.3.4 Prova di accensione all'arco (AI)

Il campione in prova si posiziona in orizzontale e su di esso si posizione un elettrodo fisso. Un elettrodo mobile viene fatto andare a contatto con il fisso provocando l'arco ripetutamente fino ad ottenere una cadenza di 40 archi/min. La prova si interrompe quando il campione si incendia oppure ha sopportato 200 archi.

Considerazioni sulle caratteristiche di resistenza al fuoco
Come per la prova di resistenza al glow wire, anche la Norma EN 60695-11-10 specifica la distinzione tra "prove sul prodotto finito", con cui si intende una prova di

valutazione del rischio di incendio su un prodotto completo, su una sua parte, componente o sottoassieme, dal termine “prove di preselezione”, con cui si intende una prova relativa alle caratteristiche di combustione eseguita su provini del materiale che abbiano dimensioni normalizzate.

Sia per prove glow wire che per prove alla fiamma, sul mercato si trovano materiali termoplastici che opportunamente caricati con additivi (par. 2), possono raggiungere indici di resistenza 960 °C e classificazione V-0. La stessa cosa vale per i termoindurenti.

Molto spesso tali caratteristiche vengono confermate da prove sui prodotti finiti. Tuttavia la classificazione del materiale non basta per considerare i reali effetti del comportamento di un materiale plastico in caso di incendio, causato da fattori esterni o innescato dal contatto di un’arco con il materiale stesso. Come può accadere nelle apparecchiature elettriche e nelle custodie.

Le stesse norme che standardizzano le prove relative ai rischi di incendio (EN 60695), **“indicano che per i prodotti elettrotecnici il rischio di incendio è presente in ogni circuito elettrico sotto tensione (IEC 60695-1-)” e che la reale tenuta al fuoco di una parte o di un prodotto è influenzata dall’ambiente in cui è inserita, da variabili di progetto, quali la forma e le dimensioni; dal tipo di potenziale sorgente di accensione e dalla durata di esposizione ad essa; dal contributo del combustibile; dall’intensità della combustione; dai fattori ambientali, quali: condizioni di ventilazione, orientamento del materiale esposto, ecc.**

Infine, non ultima per importanza, **l’influenza dell’uso previsto dell’apparecchio, dell’uso improprio, dall’esposizione all’ambiente e il relativo invecchiamento del materiale secondo caratteristiche non prevedibili.**

Pertanto **è di fondamentale importanza, nella scelta del materiale da installare nei luoghi a rischio di incendio, considerare:**

1) Le minime caratteristiche di comportamento al fuoco previste dalle norme impiantistiche,
2) Una valutazione del tipo di rischio ambientale e destinazione d’uso degli ambienti,
3) Una valutazione della tipologia del danno. Per esempio la presenza di persone, ricordando che elevate prestazioni di autoestinguenza sono legate a cariche nel materiale plastico che producono fumi e gas tossici,
4) Che l’obiettivo pratico è l’impedire l’accensione di un incendio e nel caso si verificasse, circoscrivere il fuoco preferibilmente all’interno dell’involucro della costruzione elettrica.
5) Infine operare la scelta definitiva del materiale plastico della costruzione elettrica con le idonee caratteristiche di Glow Wire, HB, V, HWI e AI; oppure scegliere costruzioni in materiale metallico.

9.1.4 Indice di resistenza alla traccia (CTI)

I materiali plastici vengono utilizzati in primo luogo in qualità di isolanti. Pertanto nella costruzione delle apparecchiature elettriche che portano corrente (interruttori, sezionatori, prese a spina, ecc.) sono di fondamentale importanza le qualità dielettriche del materiale isolante.

Abbiamo visto che in presenza di inquinamento, polvere, ecc., potrebbe verificarsi il fenomeno del tracking.

La definizione dell'indice di resistenza alla traccia di un materiale fornisce una indicazione sulla tensione che il materiale riesce a sopportare, prima di cedere, quando sulla sua superficie si stabilisce un arco elettrico.

La prova consiste nell'applicare una tensione superficiale su un provino del materiale attraverso due elettrodi, opportunamente distanziati. Si fanno cadere dall'alto delle gocce di elettrolita, si manifesta un arco elettrico e si interrompe il flusso delle gocce quando si accende una fiamma persistente, oppure termina il numero di gocce stabilito dalla norma per la prova.

Durante la prova, viene applicata agli elettrodi una tensione alternata compresa tra 100 e 600 V. Il provino può subire erosione, caso in cui ne viene registrata la profondità.
Il CTI (indice di resistenza alla traccia) è il valore numerico della massima tensione alla quale cinque provini resistono per il periodo di prova con 50 gocce, senza presentare cedimento e se resistono per 100 gocce ad una tensione 25V inferiore alla massima tensione provata con 50 gocce.

Il CTI viene utilizzato per classificare i materiali in gruppi (I,II,IIa,IIIb). In funzione del gruppo dei materiali, del grado di inquinamento dell'ambiente di utilizzo e della tensione di isolamento nominale, le norme di prodotto forniscono il valore in mm delle distanze superficiali da rispettare nella progettazione dell'apparecchio.

Quando il materiale viene utilizzato per realizzare custodie, il CTI fornisce un parametro per stabilire la resistenza del materiale al fenomeno di un arco elettrico che potrebbe instaurarsi internamente alla custodia, a causa del cedimento di un isolamento o per il fenomeno del tracking.

9.2 Verifica del grado di protezione IP

Uno degli aspetti che è emerso nell'analisi delle cause di innesco è senza dubbio che per alcune di esse la custodia dell'apparecchiatura è una protezione necessaria (a volte l'unica, come nel caso dell'arco elettrico).

Per questo motivo deve essere costruita in materiale che resiste alle sollecitazioni termiche: se il materiale è plastico, deve essere sottoposto alle prove sui materiali plastici; se il materiale è metallico non vi sono rischi legati alla stabilità termica o all'infiammabilità.

Inoltre è fondamentale che la custodia offra un impedimento all'ingresso di corpi solidi e acqua, per questo deve essere classificata secondo un determinato grado di protezione IP.

Ai fini del presente documento si è scelto di non illustrare la definizione delle due cifre del grado di protezione, o dei metodi di prova per conferirle, ma piuttosto di analizzare il grado di protezione alla luce di quanto detto fino ad ora in merito al ruolo dell'impianto elettrico negli incendi.

Le norme impiantistiche individuano nel grado di protezione IP4X il minimo installabile nei luoghi a maggior rischio in caso di incendio. Lo scopo è chiaramente proteggere le sostanze combustibili che possono essere presenti nell'ambiente, da fenomeni di proiezione di parti incandescenti a seguito di formazione di un arco elettrico interno alla custodia. Tuttavia la norma specifica anche che il grado di protezione delle custodie debba essere scelto in funzione delle caratteristiche dell'ambiente. Questo implica una analisi della presenza di possibili polveri nel luogo di installazione (si ricorda che il grado IP4X offre protezione all'ingresso di un filo di prova, ma non di polvere), per evitare i rischi di penetrazione all'interno della custodia con possibile contatto con parti in tensione. Se la polvere è conduttrice, il pericolo di formazione di un arco elettrico aumenta sensibilmente.
La polvere è presente in molte attività lavorative, come parte del processo produttivo (lavorazione fine dei metalli, falegnamerie, ecc.), oppure come componente ambientale indesiderato (inquinamento). Nel primo caso, se la polvere è combustibile è necessaria una valutazione del rischio di formazione di atmosfere esplosive (classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione).
In presenza di polvere il grado di protezione idoneo per una custodia è IP5X, oppure IP6X. La prova a cui è sottoposta la custodia è sostanzialmente la stessa (norma EN 60529): la custodia, all'interno della quale è creata una depressione, è posta in una camera in cui circola per tutta la durata della prova una polvere di talco in sospensione; la polvere di talco è tale da poter passare attraverso un setaccio a maglia

quadrata in cui il diametro dei fili è di 50 μm e la distanza tra i fili è di 75 μm.
La differenza tra una custodia conforme al grado di protezione IP5X, rispetto ad una IP6X, è che nel primo caso è ammesso che la polvere possa entrare in piccola quantità, ma non si deve depositare su le parti in tensione; mentre nel secondo caso non è ammessa presenza di polvere all'interno della custodia.
In conclusione negli ambienti a rischio di incendio, con rischio di presenza di polvere, al fine di evitare l'innesco dell'incendio, in favore della sicurezza si potrebbe adottare la regola impiantistica utilizzata nei luoghi con pericolo di esplosione: in presenza di polvere non conduttrice, prevedere custodie con grado di protezione IP5X; in presenza di polvere conduttrice, prevedere custodie con grado di protezione IP6X.
La possibile presenza di acqua nell'ambiente di destinazione d'uso della custodia elettrica, deve essere valutata in merito a: umidità, condensa, gocciolamento, getti d'acqua. A seconda della situazione, l'impiantista sceglie l'idoneo grado di protezione contro la penetrazione di acqua (seconda cifra IP).
Oltre alla situazione ambientale normalmente presente, una analisi del rischio in un ambiente a rischio di incendio, dovrebbe tenere conto anche dell'eventuale presenza di impianti automatici dell'incendio, in cui all'intervento la custodia elettrica si trova soggetta a spruzzi e/o getti. In tal caso può essere idoneo un grado minimo di protezione IPX5.

9.3 Verifica della resistenza all'urto

La resistenza all'urto assume importanza fondamentale per le custodie delle costruzioni elettriche, quando sono chiamate a costituire una barriera tra l'apparecchio elettrico e il materiale combustibile da non innescare, in conseguenza al rischio di formazione di arco elettrico. Inoltre se le custodie installate sono state scelte con determinato grado IP, per le condizioni ambientali, è necessario mantenere nel tempo il grado di protezione.

Se la custodia è in materiale plastico, un urto potrebbe creare la rottura del materiale e inficiare il grado di protezione IP della custodia, permettendo l'ingresso di corpi solidi o acqua, annullando la protezione contro l'innesco dell'incendio che questa offre.
Inoltre gli effetti di un urto sulla superficie di una custodia in materiale plastico, potrebbe modificare localmente il materiale, creando discontinuità sulla superficie o lo spessore (scheggiatura, ecc.), tali da modificarne le caratteristiche dielettriche.

Per queste ragioni **alcune norme di prodotto, come ad esempio la EN 62208 per gli**

involucri per apparecchiature di bassa tensione, dopo l'esecuzione delle prove di urto, richiedono la garanzia del grado di protezione IP e di tenuta dielettrica.

Se la custodia è in materiale metallico, le prove di resistenza all'urto non producono effetti o danni apprezzabili.

10 CENNI SUI LUOGHI CON PERICOLO DI ESPLOSIONE: DIRETTIVE ATEX

Ciò che accomuna il fenomeno dell'incendio con il fenomeno dell'esplosione, sono i componenti del triangolo del fuoco. Un incendio, così come un'esplosione, per potersi manifestare necessitano della presenza contemporanea, nella giusta concentrazione, di combustibile, comburente e innesco.
Il presente capitolo ha lo scopo di fornire un breve cenno sull'approccio europeo al pericolo di esplosione, per fornire qualche spunto sul confronto con il pericolo d'incendio, in materia di valutazione delle apparecchiature elettriche.
Non è possibile pensare in poche righe di affrontare un argomento così complesso come il pericolo di esplosione, sia da un punto di vista del fenomeno fisico e di analisi del rischio, sia da un punto di vista delle norme tecniche, che al momento stanno avendo un'evoluzione costante e veloce.

10.1 L'approccio delle direttive Atex

Tutte le volte che in conseguenza ad un processo produttivo, in un sistema di contenimento, in conseguenza ad un guasto, può essere emessa all'atmosfera una sostanza infiammabile aerodispersa, che si misceli con l'ossigeno dell'aria in condizioni ambientali di pressione e temperatura, si ha la formazione di atmosfera potenzialmente esplosiva.
Le atmosfere esplosive sono suddivise principalmente in due: atmosfere esplosive dovute alla presenza di gas, vapori o nebbie ed atmosfere esplosive per la presenza di polveri combustibili.
Il fenomeno di diffusione ed estensione dell'atmosfera esplosiva, le condizioni di innesco e di propagazione dell'esplosione sono differenti a seconda del tipo di atmosfera esplosiva.
La Comunità Europea ha emanato due direttive in materia di protezione contro le esplosioni. La prima, direttiva 1999/92/CE (titolo XI del DLgs 81/08), si occupa degli obblighi del datore di lavoro per la protezione dei lavoratori contro le esplosioni.

La seconda, direttiva 94/9/CE, riguarda l'obbligo dei costruttori di apparecchiature, elettriche e non elettriche, destinate all'installazione in atmosfera esplosiva, di realizzare le suddette apparecchiature in conformità ai requisiti essenziali di sicurezza, che assicurano un livello accettabile di sicurezza contro l'innesco delle atmosfere esplosive.

In sostanza secondo la direttiva 1999/92/CE (di valutazione del rischio):

1) Il datore di lavoro ha l'obbligo di classificare le zone pericolose nel luogo di lavoro;
2) I luoghi di lavoro sono classificati in tre zone pericolose, 0,1,2 per gas e 20, 21,22 per polveri;
3) Le zone sono determinate per pericolosità decrescente in funzione della probabilità di formazione e persistenza di atmosfere esplosive. Per la classificazione le norme EN 60079-10 per gas ed EN 61241-10 per polveri, conferiscono presunzione di conformità alla direttiva e sono le norme tecniche idonee ad eseguire la classificazione;
4) Le zone devono essere individuate nella loro estensione e devono essere attuate tutte le misure necessarie a prevenire la formazione di atmosfere esplosive;
5) Qualora non sia possibile prevenire la formazione di atmosfere esplosive, il datore di lavoro ha l'obbligo di valutare tutte le possibili sorgenti di innesco ragionevolmente prevedibili. Tra le quali vi è l'impianto elettrico;
6) Il datore di lavoro ha l'obbligo di predisporre che nelle zone pericolose, impianti e attrezzature siano idonee al tipo di zona, prevedendo l'impiego di impianti e attrezzature conformi alla direttiva 94/9/CE (prodotti), la quale classifica le costruzioni a seconda del tipo di zona in cui possono essere installate senza rischio di innesco dell'atmosfera esplosiva;
7) Il datore di lavoro redige il documento di protezione contro le esplosioni;
8) Il datore di lavoro denuncia gli impianti elettrici in zona 0,1, 20 e 21, e fa eseguire le verifiche periodiche secondo il DPR 462/01.

Il costruttore degli apparecchi, nel nostro caso elettrici (ma vale anche per gli apparecchi non elettrici), deve realizzare i prodotti in conformità alla direttiva 94/9/CE, eseguendo sui prodotti una analisi del rischio di innesco. In sostanza il costruttore dichiara per quali zone pericolose i suoi prodotti sono idonei, ma la responsabilità del corretto impiego di una apparecchiatura nella corretta zona è del datore di lavoro.

In sostanza secondo la direttiva 94/9/CE (prodotti) il costruttore di una apparecchiatura elettrica deve:

a) Eseguire l'analisi del rischio di innesco del prodotto;
b) Adottare il principio progettuale della prevenzione dell'innesco. In questo può avvalersi dell'uso delle norme armonizzate di prodotto per la costruzione di apparecchiature elettriche con i cosiddetti "modi di protezione". Le

norme della serie EN 60079 si occupano di fornire le prescrizioni tecniche per la realizzazione di apparecchi in conformità ai modi di protezione validi per atmosfere esplosive dovute a gas: Ex ia, Ex ma per l'installazione in zona 0; Exd, Exe, Exp, Exo, Exq , Exib, Exmb per l'installazione in zona 1; Exn, per l'installazione in zona 2. Le norme della serie EN 61241 si occupano invece di fornire le prescrizioni tecniche per la realizzazione di apparecchi in conformità ai modi di protezione validi per atmosfere esplosive dovute a polveri combustibili (modi di protezione ExtD, ExmD, ExpD, ExiD).

c) Classificare il prodotto in relazione al tipo di zona in cui può essere installato, definendone gruppo (I miniere di grisou, II industria di superficie) e categoria:
   - Costruzioni elettriche II 1G per zona 0;
   - Costruzioni elettriche II 2G per zona 1;
   - Costruzioni elettriche II 3G per zona 2;
   - Costruzioni elettriche II 1D per zona 20;
   - Costruzioni elettriche II 2D per zona 21;
   - Costruzioni elettriche II 3D per zona 22.
d) Costituire il fascicolo tecnico del prodotto comprensivo di analisi del rischio, disegni progettuali, istruzioni per l'uso e la manutenzione, ecc.;
e) Apporre la marcatura CE seguita dal simbolo ⟨Ex⟩ (apparecchiatura per atmosfere esplosive), gruppo e categoria
f) Se l'apparecchiatura è destinata all'installazione in zona 0, 1, 20, 21, deve far eseguire un esame CE del tipo del prodotto da un Organismo Notificato (idoneo alla certificazione Atex), che rilascia il *Certificato CE del Tipo.*
g) Garantire di realizzare la produzione in conformità al tipo (prototipo) provato e certificato, costituendo un sistema di qualità della produzione certificato e sorvegliato dall'Organismo Notificato.

Un simile approccio, anche se con un elevato livello di rigidità, contribuisce ad abbassare il rischio di innesco di un'esplosione.

10.2 Influenza dell'approccio Atex per le costruzioni elettriche

Per ogni modo di protezione accennato al punto b) del par. 4.1, esiste la relativa norma tecnica delle serie EN 60079 (gas) ed EN 61241 (polveri). Una serie di norme ha una parte 0, in cui sono prescritti i requisiti generali che tutte le costruzioni elettriche devono rispettare, e le parti relative ai modi di protezione. Ad esempio, un prodotto realizzato con modo di protezione Exia, idoneo per zona 0, deve essere conforme alla norma EN 60079-0 (requisiti generali) ed EN 60079-11 (modo di protezione Exi – sicurezza intrinseca). Lo stesso dicasi per la serie di norme 61241 per le polveri.

Sia la parte 0 della norma per costruzioni elettriche per gas, sia la parte 0 della norma per le costruzioni elettriche per polveri, nei confronti delle custodie delle costruzioni danno le stesse prescrizioni generali.
Per le custodie in materiale metallico, l'attenzione è rivolta principalmente ai materiali costituenti la lega (per evitare la formazione di scintille in caso di impatto) e alla continuità elettrica per evitare l'accumulo di cariche elettrostatiche.
Per le custodie non metalliche, o parti non metalliche delle custodie (custodie in materiale plastico, elastomeri, guarnizioni delle custodie metalliche), è previsto un iter di prove del tipo severo. Le prove della custodia devono essere eseguite nel seguente ordine:

1) Resistenza termica a caldo: immagazzinaggio per 4 settimane alla temperatura massima di servizio + 20 K e umidità relativa 90%;
2) Resistenza termica a freddo: immagazzinaggio per 24 h alla minima temperatura di servizio ridotta di 10-15 K;
3) Esecuzione prove d'urto a caldo (alla massima temperatura di servizio);
4) Esecuzione prove d'urto a freddo (alla minima temperatura di servizio, in genere molto vicina alla minima temperatura ambientale, esempio –20°C);
5) Apertura e richiusura dei giunti, così come le istruzioni per l'installazione e la manutenzione prevedono (prescrizione nuova IEC 60079-0:2007);
6) Prove del grado di protezione IP
7) Prove del modo di protezione.

Una sequenza simile di prove su una custodia plastica è molto severa. Innanzitutto l'immagazzinaggio al caldo per 4 settimane e al freddo, sono una buona simulazione del reale invecchiamento che le apparecchiature subiscono durante il funzionamento, perché tiene conto effettivamente della temperatura di esercizio. Gli urti a caldo e a freddo, consentono di verificare la resistenza meccanica delle materie plastiche con l'influenza della temperatura. L'esperienza di laboratorio ha dimostrato inoltre che in questa prova influisce molto anche la fase di produzione della materia plastica: nei materiali termoplastici, ad esempio i policarbonati, sono stati registrati cedimenti del materiale in conseguenza dei ritiri del materiale e delle tensioni interne, dovute alla produzione.
L'esecuzione delle prove IP solo dopo l'esecuzione delle prove 1,2,3,4 e 5, fornisce un buon banco di prova per la conservazione delle caratteristiche IP nel tempo.

Quanto sopra dimostra come, negli ambienti pericolosi, quando è noto che alcuni materiali presentano delle caratteristiche proprie con dei limiti prevedibili, sia necessario il mantenimento nel tempo delle caratteristiche che forniscono la protezione contro un evento sfavorevole.

APPENDICE

11 NORMA IMPIANTI CEI 64-8 PARTE 7, SEZ 751: PRESCRIZIONI PER GLI IMPIANTI NEI LUOGHI A MAGGIOR RISCHIO IN CASO D'INCENDIO (MARCI)

Nei luoghi a maggior rischio (luoghi MARCI) in caso di incendio, per la progettazione e l'esecuzione degli impianti elettrici, si applicano le prescrizioni della sezione 751 della norma CEI 64-8/7.
La Norma stessa ribadisce che l'individuazione degli ambienti MARCI è un dato in ingresso per il progettista, specificando che la classificazione non rientra nello scopo della norma impianti, ma nel PIU' VASTO AMBITO DELLA VALUTAZIONE DEI RISCHI E DELLA PREVENZIONE INCENDI (DLgs 81/08) A MONTE DEL PROGETTO ELETTRICO.
La sezione 751 definisce 3 tipi di ambienti marci in relazione alla causa che determina il maggiore rischio:

- **Luoghi di tipo A:** elevata densità di affollamento o a elevato tempo di sfollamento in caso d'incendio (musei,teatri,scuole,ospedali,ecc.) o elevato danno ad animali e cose (musei,edifici storici,allevamenti bestiame,ecc.)
- **Luoghi di tipo B:** strutture portanti combustibili, edifici costruiti interamente in legno, ad esempio le baite (Non sono luoghi B edifici in muratura o in calcestruzzo con travi in legno. Le parti combustibili dell'edificio vanno conteggiate nel carico d'incendio)
- **Luoghi di tipo C:** presenza di materiale infiammabile o combustibile in lavorazione, convogliamento, manipolazione o deposito (corrispondono ai compartimenti antincendio di CLASSE ≥ 30 determinata in base al carico d'incendio specifico e altri indici di rischio, in conformità alla circolare del M.I. n.91/61)

I luoghi elencati nelle 97 attività soggette a CPI (elenco all'appendice A della Sez.751 Norma CEI 64-8) sono considerabili MARCI, ma non è detto che i luoghi non compresi nelle 97 attività non siano marci. Ad esempio i luoghi B (non soggetti a rilascio del CPI).
La norma prescrive i requisiti generali dell'impianto elettrico nei luoghi MARCI e le prescrizioni aggiuntive per ognuno dei tre tipi di luogo a maggior rischio in caso di incendio. Se un luogo somma in sé le caratteristiche di più di un tipo di luogo marcio, per esempio sia del luogo A che di C, l'impianto elettrico deve soddisfare le prescrizioni per entrambi.

11.1 Requisiti generali dell'impianto elettrico nei luoghi MARCI

Indipendentemente dalla classificazione dell'ambiente, nei luoghi a maggior rischio in caso di incendio di tipo A, B o C, devono essere osservate le seguenti prescrizioni:

- I componenti elettrici devono essere limitati a quelli necessari per l'uso del luogo;
- Le condutture destinate ad altri locali possono transitare, no connessioni;
- Possono essere installati apparecchi d'illuminazione conformi alle norme di prodotto;
- Gli apparecchi con lampade ad alogeni o ad alogenuri devono avere uno schermo di protezione per impedire la proiezione di materiali incandescenti in caso di scoppio della lampada;
- Gli apparecchi d'illuminazione devono essere installati lontano dai materiali combustibili (sviluppo calore). Faretti e piccoli proiettori devono essere installati a:
    - 0,5 m per potenze fino a 100 W;
    - 0,8 m per potenze da 100 W a 300 W;
    - 1 m per potenza da 300 W a 500 W;
- Nei luoghi marci dove ha accesso il pubblico, i dispositivi di protezione e di manovra vanno posti in un quadro chiuso a chiave, oppure in un locale dedicato inaccessibile al pubblico;
- In tutti i luoghi MARCI i dispositivi di protezione contro il sovraccarico devono essere posti all'inizio del circuito;

11.2 Condutture elettriche nei luoghi MARCI

Per condutture si intende l'insieme di conduttori e il loro isolamento (cavi), il supporto, il fissaggio e l'eventuale protezione meccanica. In relazione all'innesco e alla propagazione dell'incendio le condutture vengono suddivise in 3 gruppi:

- GRUPPO "a": condutture che strutturalmente non possono né innescare , né propagare l'incendio. Sono le più sicure perché i conduttori attivi sono completamente segregati. Non richiedono provvedimenti protettivi;
- GRUPPO "b": condutture che non possono innescare , ma possono propagare l'incendio. I conduttori attivi sono schermati. Richiedono provve-

dimenti protettivi contro la propagazione dell’incendio tramite le guaine isolanti esterne dei cavi;
- GRUPPO “c”: condutture senza particolari requisiti, che possono innescare e propagare l’incendio. Richiedono provvedimenti protettivi contro l’innesco e la propagazione dell’incendio

In tutti i luoghi marci non sono ammessi i sistemi TN-C. Il conduttore PEN è attraversato dalla corrente di squilibrio tra le fasi (I_N) che si richiude anche tramite le masse e le masse estranee collegate al PEN e potrebbe causare un principio d’incendio. Sono ammessi invece i sistemi TN-S, in cui il conduttore di protezione PE è separato dal Neutro e la corrente di squilibrio del sistema elettrico percorre soltanto il Neutro. I sistemi TN-S ibrido non sono ammessi, poiché il conduttore PE e il Neutro sono separati ma collegati in più punti, ad esempio nei quadri di distribuzione. La corrente di squilibrio interessa le masse e masse estranee come nel sistema TN-C.
Le condutture ammesse nei luoghi a maggior rischio in caso di incendio sono le seguenti:

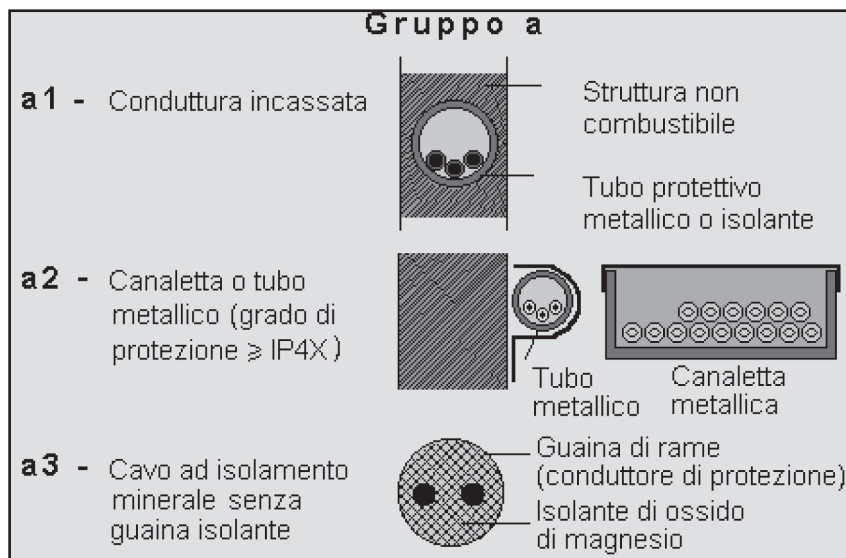
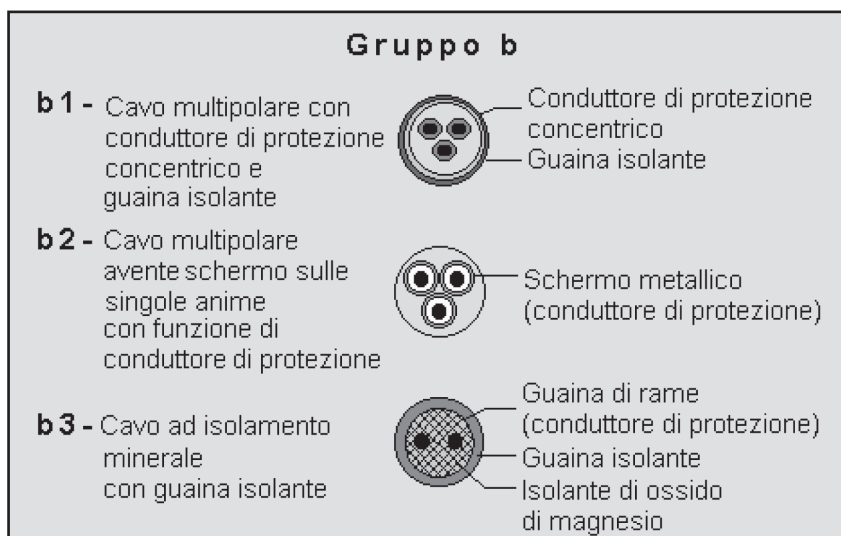
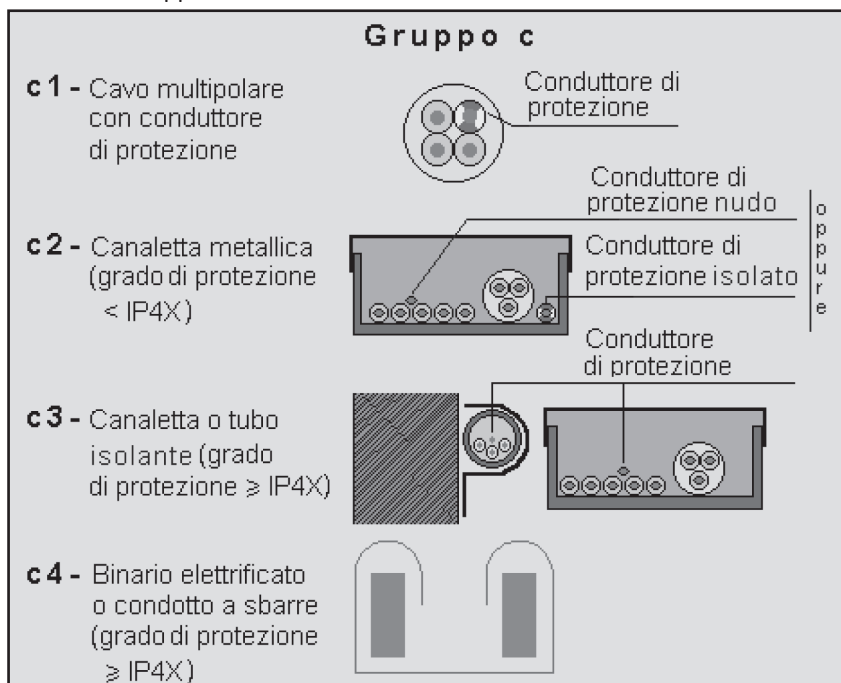
Condutture “gruppo a”:

Condutture “gruppo b”:

Gruppo b

b 1 - Cavo multipolare con conduttore di protezione concentrico e guaina isolante

b 2 - Cavo multipolare avente schermo sulle singole anime con funzione di conduttore di protezione

b 3 - Cavo ad isolamento minerale con guaina isolante

Condutture “Gruppo c”

11.3 Prescrizioni aggiuntive per i luoghi di tipo A

Oltre alle prescrizioni generali sull'impianto e sulle condutture di cui ai paragrafi precedenti, per i luoghi di tipo A (presenza numerosa di persone) si applicano le seguenti:

- Per cavi delle condutture tipo b) e c) si deve valutare il rischio nei riguardi dei fumi, gas tossici e corrosivi (valutazione del rischio in relazione alla particolarità del tipo di installazione ed entità del danno per le persone), al fine di adottare opportuni provvedimenti, quali ad esempio l'installazione di cavi LS0H (halogen free), tipo ad esempio FG7OM1.

- Il problema non si pone se i cavi sono posati in tubi incassati nella muratura (conduttura tipo a1), oppure in tubi o canali metallici con grado di protezione ≥ IP4X (conduttura tipo a2).

11.4 Prescrizioni aggiuntive per i luoghi di tipo B

Oltre alle prescrizioni generali sull'impianto e sulle condutture di cui ai paragrafi precedenti, per i luoghi di tipo B si applicano le seguenti:

- I componenti dell'impianto montati su o entro strutture combustibili, che nel loro funzionamento previsto possono emettere all'esterno archi o scintille tali da innescare il materiale, devono essere racchiusi in custodie aventi grado di protezione almeno IP4X verso le strutture combustibili;

- Non è richiesto IP4X per:
    - interruttori di comando del circuito luce e dispositivi similari;
    - interruttori automatici di corrente nominale fino a 16A e potere di cortocircuito fino a 3000 A;
    - le prese a spina di uso domestico e similare.

11.5 Prescrizioni aggiuntive per i luoghi di tipo C

Oltre alle prescrizioni generali sull'impianto e sulle condutture di cui ai paragrafi precedenti, per i luoghi di tipo C si applicano le seguenti:

- GRADO DI PROTEZIONE ≥ IP4X per:

- componenti impianto elettrico (per le condutture vale quanto visto)
- motori elettrici, solo morsettiera ed eventuale collettore (per il resto del motore è sufficiente IP2X)
- apparecchi d'illuminazione (solo per le parti attive, non per le lampade che quindi possono essere accessibili)

- il grado di protezione ≥ IP4X non si applica:

    - interruttori di comando del circuito luce e dispositivi similari;
    - interruttori automatici di corrente nominale fino a 16A e potere di interruzione fino a 3000A
    - le prese a spina di uso domestico e similare;

- I dispositivi di protezione contro il sovraccarico dei motori non devono essere a riarmo automatico. A meno che il motore non sia costantemente presidiato o munito di protezione di sovratemperatura. Questo per evitare che successive richiusure del dispositivo, che si raffredda prima del motore, provochi il progressivo riscaldamento del motore.

- Apparecchi di illuminazione in presenza di polvere combustibile (SE NON IN AMBIENTE CLASSIFICATO CON PERICOLO D'ESPLOSIONE):

    - installare apparecchi a temperatura superficiale limitata;
    - marcati con il simbolo D e presentano una temperatura massima 90°C su tutte le superfici orizzontali esposte alla polvere;

- I componenti devono essere ubicati o protetti in modo da non essere soggetti allo stillicidio di eventuali combustibili liquidi;

- se le sostanze combustibili occupano un volume ben definito, prevedibile e controllato (ad esempio un sistema di immagazzinaggio automatico), sia le regole generali che quelle specifiche si applicano soltanto nel volume circostante il materiale combustibile:

    - 1,5 m IN ORIZZONTALE IN TUTTE LE DIREZIONI (non oltre le pareti);
    - 1,5 m IN VERTICALE VERSO IL BASSO (non oltre il pavimento);
    - 3 m IN VERTICALE VERSO L'ALTO (non oltre il soffitto);

nel resto del compartimento gli impianti elettrici possono essere ordinari.

12 Responsabilità penali del progettista, fabbricante, fornitore, installatore ed utilizzatore degli impianti alla luce della normativa vigente

La presente relazione tratterà il tema della responsabilità penale e civile dei soggetti prevenzionali che, a vario titolo e nelle rispettive sfere di competenza, intervengono nella gestione[1] di impianti elettrici e di strutture ad atmosfere esplosive (ATEX) mantenendo un caposaldo iniziale: la struttura normativa generale che configura tali responsabilità - art. 43 c.p., artt . 22, 23, 24, 57, 79, 80, 81 D.Lgs 9 aprile 2008 n. 81 (d'ora in poi Testo Unico o T.U.), artt. 2043 e 2087 c.c., L. 186/68 - ha un tratto comune a tutte le figure che interagiscono con le problematiche connesse alla sicurezza degli impianti elettrici e delle ATEX. Lo scopo del presente lavoro sarà quindi quello di evidenziare questi aspetti comuni al fine di fornire uno strumento formativo fruibile nella soluzione di problematiche operative.
Il tratto comune al quale pocanzi s'è fatto riferimento consiste nella stretta interdipendenza fra responsabilità civile e penale conseguente all'accertamento del *«profilo di colpa»* addebitabile ad un determinato soggetto - imputato - nell'ambito del processo penale riguardante, ad esempio, il propagarsi di un incendio: a tale accertamento consegue l'obbligo per il condannato al risarcimento del danno - da qui la responsabilità civile - in favore del soggetto danneggiato.
Da ciò si deduce che i due profili di responsabilità, quello civile e quello penale, seppur diversi nei loro tratti essenziali - il primo obbliga il convenuto al risarcimento del danno mentre il secondo è fonte di una sanzione penale pecuniaria o detentiva - sono strettamente connessi. Sussisterà il primo, quello civile, nella misura in cui un soggetto si renda autore di una condotta non rispettosa di specifiche previsioni contrattuali. Vi sarà invece responsabilità penale qualora il soggetto realizzi comportamenti che, ancorchè non siano sanciti da previsioni contrattuali, integrino fattispecie di reato, con il conseguente obbligo risarcitorio avente natura extracontrattuale ex art. 2043[2] c.c.
E' quindi corretto affermare che dalla commissione del reato di incendio colposo previsto e punito dall'art. 449 c.p. - *«chiunque (…) cagiona per colpa un incendio (…) è punito con la reclusione da uno a cinque anni»* - derivano a carico del soggetto condannato due profili di responsabilità concorrenti e saldamente connessi che lo assoggettano alla esecuzione della pena e al risarcimento del danno in favore di chi ha subito le conseguenze del fatto-reato.
Ciò premesso, è opportuno analizzare quale sia il metodo di imputazione della responsabilità in sede penale dei reati che hanno diretto interesse per la materia in oggetto - incendio colposo, contravvenzioni e delitti di lesione o omicidio colposi a carico di progettisti, fabbricanti, installatori e utilizzatori di impianti elettrici, - anche al fine di svolgere attività preventiva finalizzata ad informare gli operatori del settore.

Come già sottolineato, la presente relazione avrà ad oggetto esclusivamente i reati connotati da una componente soggettiva colposa, realizzati *«contro l'intenzione»,* ovvero in mancanza di una precisa volontà tesa alla realizzazione del disegno criminoso[2] per i quali, secondo l'art. 43 c.p., *«l'evento, anche se preveduto, non è voluto dall'agente e si verifica a causa di negligenza o imprudenza o imperizia, ovvero per inosservanza di leggi, regolamenti, ordini o discipline».*
Dalla sintetica riproposizione della norma sono chiaramente evincibili alcuni concetti fondamentali per comprendere in modo adeguato il significato della responsabilità penale colposa.
Preliminarmente è necessario individuare un evento qualificabile come l'effetto dell'azione o omissione che il diritto prende in considerazione in quanto connette al suo verificarsi conseguenze di carattere penale. Calando il concetto in un esempio pertinente al tema in oggetto, può intendersi per evento il propagarsi di un incendio ovvero il manifestarsi di una deflagrazione in ambienti nei quali sia prevedibile la formazione di atmosfere esplosive.
E' evidente come l'indagine sia finalizzata alla ricerca di responsabilità personali ed è quindi necessario individuare se e quali comportamenti siano stati la causa dell'evento che si è verificato, precisando però che le condotte aventi rilievo penale sono, come correttamente precisato dallo stesso art. 43 c.p., solo quelle connotate da <u>negligenza, imprudenza, imperizia ovvero inosservanza di leggi regolamenti, ordini o discipline.</u>

1 Si fa esplicito riferimento ai progettisti, installatori, fornitori, produttori e gestori (Datori di Lavoro) di impianti elettrici o di ambienti ATEX.
2 *«qualunque fatto doloso o colposo, che cagiona ad altri un danno ingiusto, obbliga colui che ha commesso il fatto a risarcire il danno».*
3 La precisazione è necessaria per distinguere i reati colposi da quelli dolosi, ovvero da quelli nei quali il soggetto agisce con il proposito di realizzare un evento determinato. In materia di incendio, la distinzione è nettamente marcata dallo stesso codice penale che all'art. 423 prevede il reato di incendio doloso - *«Chiunque cagiona un incendio è punito con la reclusione da tre a sette anni. La disposizione precedente si applica anche nel caso d'incendio della cosa propria, se dal fatto deriva pericolo per la incolumità pubblica»* - distinguendolo da quello colposo - *«chiunque (…) cagiona per colpa un incendio (…) è punito con la reclusione da uno a cinque anni» -.*

Ebbene, proprio questo è l'aspetto di maggior rilievo. Si deduce dalla lettura della norma che qualora un soggetto agisca con diligenza prudenza e perizia ovvero nel pieno rispetto di *"leggi regolamenti ordini o discipline",* non sarà passibile di censura in sede penale e andrà, quindi, esente da responsabilità civile ex art. 2043 c.c.[4].
Calando di nuovo la teoria in un esempio pratico, si pensi al costruttore di componenti di impianti elettrici ed alle conseguenze che possano derivare a suo carico laddove si verificasse un incendio che origini proprio da uno di tali componenti. Il quesito di maggior rilievo a questo punto è il seguente: quali accorgimenti deve

adottare il costruttore - ma, come lui, il progettista, l'installatore e il certificatore - nella realizzazione della sua condotta ovvero, nel caso di specie, nella fabbricazione dei componenti elettrici, per ovviare alle conseguenze penali derivanti dal verificarsi dell'incendio?
Ebbene, soprattutto in materia di installazioni elettriche, la legge 1 marzo 1968 n. 186[5] fornisce una risposta chiara ed univoca prevedendo degli standard minimi di regolarità sanciti dalle così dette norme C.E.I. (Comitato Elettrotecnico Italiano)[6].
Quindi, rispetto al metodo di imputazione colposa dell'evento regolato dall'art. 43 c.p., le norme tecniche C.E.I. costituiscono il parametro di riferimento la cui scrupolosa osservanza consente al produttore di componenti di impianti elettrici - ovvero ad altro soggetto qualificato - di restare esente da responsabilità penali connesse all'evento che si è verificato.
La normativa non tecnica che meglio di tutte chiarisce i settori di responsabilità con riferimento ad impianti elettrici e ATEX è il Testo Unico in materia di sicurezza (D.Lgs 9 aprile 2008 n. 81 modificato dal D.Lgs 3 agosto 2009 n. 106) che distingue fra progettisti, fabbricanti, installatori e utilizzatori finali dell'impianto.
Riguardo agli impianti elettrici il Testo Unico prevede che progettisti, produttori ed installatori siano tenuti al rispetto dei seguenti obblighi:

art. 22

I progettisti dei luoghi e dei posti di lavoro e degli impianti rispettano i principi generali di prevenzione in materia di salute e sicurezza sul lavoro al momento delle scelte progettuali e tecniche e scelgono attrezzature, componenti e dispositivi di protezione rispondenti alle disposizioni legislative e regolamentari in materia.

art. 23

Sono vietati la fabbricazione, la vendita, il noleggio e la concessione in uso di attrezzature di lavoro, dispositivi di protezione individuali ed impianti non rispondenti alle disposizioni legislative e regolamentari vigenti in materia di salute e sicurezza sul lavoro. (…)

art. 24

Gli installatori e montatori di impianti, attrezzature di lavoro o altri mezzi tecnici, per la parte di loro competenza, devono attenersi alle norme di salute e sicurezza sul lavoro, nonché alle istruzioni fornite dai rispettivi fabbricanti».
A fronte della violazione di tali obblighi l'art. 57 T.U. prevede specifiche sanzioni penali[7].
Il ripetuto richiamo alle *"disposizioni legislative e regolamentari in materia"* si riferisce, almeno per quanto attiene gli impianti elettrici, alla già citata L. 186 dell'1 marzo 1968 a norma della quale sono costruiti a regola d'arte gli impianti elettrici rispettosi delle norme C.E.I.

La norma di chiusura a tal proposito è l'art. 81 T.U. secondo il quale *«(…) tutti i materiali, i macchinari e le apparecchiature, nonché le installazioni e gli impianti elettrici ed elettronici devono essere progettati, realizzati e costruiti a regola d'arte. Ferme restando le disposizioni legislative e regolamentari di recepimento delle direttive comunitarie di prodotto, i materiali, i macchinari, le apparecchiature, le installazioni e gli impianti di cui al comma precedente, si considerano costruiti a regola d'arte se sono realizzati secondo le pertinenti norme tecniche»*: inutile dire che *«le pertinenti norme tecniche»*[8] coincidono proprio con le norme CEI quali contenitori delle norme di buona tecnica il cui rispetto affranca i soggetti qualificati dalle responsabilità penali previste dal Testo Unico e dalle norme speciali in materia di delitti colposi di comune pericolo (incendio o disastro colposo).

4 Residuerà a suo carico esclusivamente la responsabilità avente natura contrattuale che trova il suo fondamento nel mancato rispetto di specifiche previsioni pattizie stipulate fra le parti.

5 Si riporta il testo integrale della L. 186/68:
Tutti i materiali, le apparecchiature, i macchinari, le installazioni e gli impianti elettrici ed elettronici devono essere realizzati e costruiti a regola d'arte.
I materiali, le apparecchiature, i macchinari, le installazioni e gli impianti elettrici ed elettronici realizzati secondo le norme del comitato elettrotecnico italiano si considerano costruiti a regola d'arte.

6 Va tuttavia precisato che se da un lato il rispetto dei requisiti tecnici previsti dalle norme C.E.I., impedisce di elevare alcun addebito di colpa, dall'altro lato va detto che il parere positivo di organi di controllo (Cass. 17 marzo 1981, Bosnai), l'omologazione (Cass. 17 dicembre 1999, Lerede), il collaudo dell'ente preposto a dichiarare l'idoneità o la declaratoria di ottemperanza da parte delle ASL non escludono la possibilità di elevare un rimprovero di colpa.

7 Si riporta di seguito il testo integrale dell'art. 57 che prevede le sanzioni per i progettisti, i fabbricanti i fornitori e gli installatori:
I progettisti che violano il disposto dell'art. 22 sono puniti con l'arresto fino a sei mesi o con l'ammenda da 1.500 a 6.000 euro.
I fabbricanti e i fornitori che violano il disposto dell'art. 23 sono puniti con l'arresto da tre a sei mesi o con l'ammenda da 10.000 a 40.000 euro.
Gli installatori che violano il disposto dell'articolo 24 sono puniti con l'arresto fino a tre mesi o con l'ammenda da 1.200 a 5.200 euro.

Infine, va detto che il Testo Unico prevede a carico del Datore di Lavoro un profilo di responsabilità penale avente confini meno determinati rispetto a quelli fino ad ora considerati. Infatti costui, a norma dell'art. 80 T.U.:
«prende le misure necessarie affinchè tutti i lavoratori siano salvaguardati da tutti i rischi di natura elettrica connessi all'impiego dei materiali, delle apparecchiature e degli impinati elettrici messi a loro disposizione ed, in particolare, da quelli derivanti da[2]*:*

contatti elettrici diretti;
contatti elettrici indiretti;

innesco e propagazione di incendi e di ustioni dovuti a sovratemperature pericolose, archi elettrici e radiazioni;
innesco di esplosioni;
fulminazione diretta ed indiretta;
sovratensioni;
<u>*altre condizioni di guasto ragionevolmente prevedibili.*</u>

A tal fine il datore di lavoro esegue una valutazione dei rischi di cui al precedente comma 1, tenendo in considerazione:
le condizioni e le caratteristiche specifiche del lavoro, ivi comprese eventuali interferenze;
i rischi presenti nell'ambiente di lavoro;
<u>*tutte le condizioni di esercizio prevedibili»*</u>

La norma impone quindi al Datore di Lavoro una valutazione dei rischi originati dall'impiego di impianti elettrici svolta sulla base di un parametro di difficile interpretazione laddove si riferisce a *«tutte le condizioni di esercizio prevedibili»,* al quale si aggiunge quanto prescritto dall'art. 2087 c.c. che impone di *«adottare nell'esercizio dell'impresa le misure che, secondo la particolarità del lavoro, l'esperienza e la tecnica, sono necessarie a tutelare l'integrità fisica e la personalità morale dei prestatori di lavoro».*
Impiegando il medesimo procedimento logico-giuridico adottato per i progettisti, installatori, fabbricanti o produttori di impianti elettrici, anche il Datore di Lavoro è soggetto a responsabilità penale nella misura in cui con la sua condotta violi il precetto normativo posto a suo carico causando un evento. E' evidente però che se per i primi il rispetto delle norme tecniche costituisce una vera e propria presunzione di regolarità del loro operato, nel caso del Datore di Lavoro, stante la genericità ed indeterminatezza dell'obbligo - *«tutte le condizioni di esercizio prevedibili»* (art. 80 T.U.), adozione di *«misure secondo la particolarità del lavoro, l'esperienza e la tecnica»* necessarie a tutelare l'integrità dei lavoratori (art. 2087 c.c.) - si possono porre difficoltà interpretative con un evidente ampliamento dello spettro delle sue potenziali responsabilità penali.
Meritano attenzione tuttavia i recenti interventi normativi tesi alla delimitazione delle condotte esigibili in capo alla figura datoriale e contenuti nell'art. 18 co. 3 bis e nell'art. 80 co. 3 bis T.U.[2]
Infatti quest'ultima norma impone al datore di lavoro la predisposizione di procedure di uso e manutenzione degli impianti conformi alle *«disposizioni legislative vigenti, alle indicazioni contenute nei manuali d'uso e manutenzione delle apparecchiature ricadenti nelle direttive specifiche di prodotto e di quelle indicate nelle pertinenti norme tecniche»*. Il rispetto degli standard stabiliti dalle norme appena citate comporta l'assenza di responsabilità penale a carico del datore di lavoro. E'

facilmente intuibile come quanto testè accennato sia in tutto assimilabile al rapporto sancito dall'art. 81 fra l'operato dei progettisti, installatori, fabbricanti e produttori di impianti e le norme CEI.
Nella stessa direzione si è mosso il novellato art. 18 T.U. il cui co. 3 bis[2] prevede oggi, diversamente da prima, che il Datore di Lavoro possa essere chiamato a rispondere per errate scelte tecniche progettuali, di realizzazione dell'impianto ovvero di fabbricazione dei suoi componenti qualora tali scelte, non rispettose delle disposizioni legislative e regolamentari vigenti ovvero delle norme CEI, UNI etc., siano imputabili alla omessa vigilanza del Datore di Lavoro stesso sull'operato del tecnico.
Sussisterà quindi la responsabilità del Datore di Lavoro tanto in quanto l'evento - si pensi all'incendio di un magazzino innescato da un impianto realizzato con materiali non conformi - sia ricollegabile causalmente ad una scelta non conforme alle norme C.E.I. concretamente realizzata dal tecnico incaricato e *"agevolata"* dalla omessa vigilanza imputabile proprio al Datore di Lavoro.

8 Nella formulazione dell'art. 81 T.U. anteriore al decreto legislativo correttivo n. 106 del 3 agosto 2009, il riferimento era alle *«norme di buona tecnica contenute nell'allegato IX»*, norme CEI, UNI etc, oggi più chiaramente evocate dalla definizione *«pertinenti norme tecniche».*

<u>FOCUS</u>

In conclusione si può affermare che:

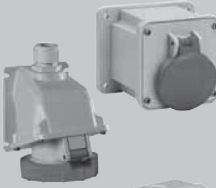
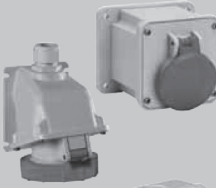
- l'evento acuto rappresentato dall'incendio o dalla deflagrazione/esplosione è preceduto da una complessa catena di condotte realizzate da soggetti qualificati
- ognuno di questi soggetti - produttore, progettista, installatore, collaudatore e utilizzatore finale dell'impianto - realizza una condotta causale rispetto all'evento acuto finale
- la condotta alla quale può essere connessa una responsabilità penale e, conseguentemente, civile ex art. 2043 c.c., è quella realizzata senza rispettare i parametri generici di prudenza diligenza e perizia ovvero quelli specifici prescritti dalle normative tecniche adottate dal C.E.I.
- **<u>il rispetto delle norme C.E.I. conferisce all'operato del soggetto interessato - diverso dal datore di Lavoro - una presunzione assoluta di regolarità</u>**
- **<u>il Datore di Lavoro deve vigilare sui</u>** corretti adempimenti degli obblighi previsti, fra gli altri, dagli artt. 22, 23 e 24 T.U. a carico di **<u>progettisti, installatori, fabbricanti o produttori di impianti elettrici onde evitare di rispondere in sede penale per errate scelte tecniche realizzate da tali soggetti</u>**
- **<u>il Datore di Lavoro deve</u> prendere le misure necessarie a <u>salvaguardare i lavoratori da tutte le condizioni di guasto ragionevolmente prevedibili</u> e <u>deve considerare tutte le condizioni di esercizio prevedibili</u>, e conseguentemente inserirle nel Documento di Valutazione dei Rischi**

13 Bibliografia

Conte G., *Impianti Elettrici – Componenti e sistemi elettrici. Normativa. Sicurezza. Progettazione.* Hoepli.
Carrescia V., *Fondamenti di Sicurezza Elettrica*. Edizioni TNE.
Piccinini N., Cardillo P. *Gas, Vapori e Polveri a rischio di esplosione e incendio*. Politecnico di Torino.
Martina M., Bonocore V., *Impianti Elettrici ed Apparecchiature Elettriche destinati all'installazione in luoghi con rischio di esplosione*.
Saechtling H., *Manuale delle Materie Plastiche*. Tecniche Nuove.

14 Articoli e Pubblicazioni varie

TuttoNormel 01/87, *Cause principali degli incendi in Italia – Un fenomeno da non trascurare.* 1987.
TuttoNormel 12/89, *Indagine statistica – Le cause d'incendio.* D'Addato M. 1989.
TuttoNormel 02/97, *Indagine IMQ-TuttoNormel – L'elettricità uccide ancora.* Carrescia V. 1989.
TuttoNormel 08/01, Luoghi di pubblico spettacolo e attività alberghiere - *Dieci anni di incendi.* D'Addato M. 2001.
TuttoNormel 10/05, *Incendi elettrici.* D'Addato M. 2005.
TuttoNormel 09/08, *Incendi nei locali di pubblico spettacolo – Italia 1995-2005.* D'Addato M. 2008.
Tuttonormel – Supplemento Gennaio 2005, *Gli incendi elettrici.*
TuttoNormel 02/89, *Gli incendi elettrici*. Capasso, F. 1989.
TuttoNormel 03/02, *Quando l'arco ci mette lo zampino*, Farina G. 2002.
Paper PCIC 2009, *IEC 60079-0 5th edition one year later. Explosive dust atmospheres: IEC EN 61241 parts 0 and 1 turn to series IEC 60079 parts 0 and 31*, Martina M., Scaburri A.

Documento redatto da: Ing. Mirko Martina e Avv. Francesco Menini

La gamma e le sue applicazioni

CANTIERISTICA
NAVALE
ATEX
TUNNEL
ENERGYBOX
NAVE
CEE-EX
CEE
TAIS-EX
NAVE
TUNNEL54
ENERGYBOX
ULYSSE-EX
TUNNEL54
ALUPRES
TAIS
ALUPRES -EX
TUNNEL54
TAIS
RINO
CAM -EX
TUNNEL54
MULTIPLAY
RINO -EX
B-SMART
Termoplastico
Termoindurente
Ottone
Termoindurente
Alluminio Acciaio
Termoindurente
Alluminio
Acciaio
Termoindurente
Alluminio
Acciaio